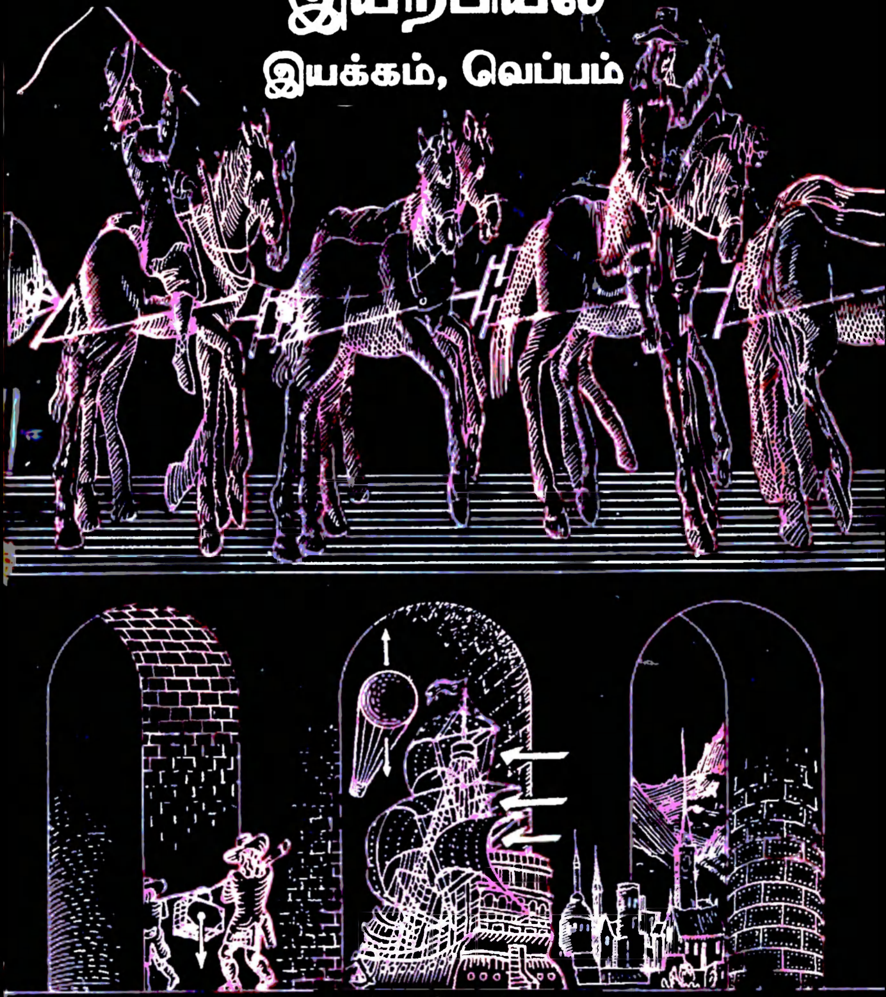
எல். லாண்டாவோ, அ. கிட்டகரோட்ஸ்கி

அனைவருக்குமான இயற்பியல்

இயக்கம், வெப்பம்



மீர் பதிப்பகம்
சோவியத் நாடு, மாஸ்கோ

Л. Д. Ландау, А. И. Китайгородский

ФИЗИКА ДЛЯ ВСЕХ

Движение. Теплота

L. LANDAU and A. Kitaigorodsky

PHYSICS FOR EVERYONE

Motion · Heat

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА СССР

எல். லாண்டாவோ
அ. கிட்டகரோட்ஸ்கி

அனைவருக்குமான இயற்பியல்

இயக்கம், வெப்பம்

தமிழாக்கம்: டாக்டர் இ. பழனியாண்டி

மீர் பதிப்பகம்
சோவியத் நாடு, மாஸ்கோ

நியூ சேஞ்சுரி புக் ஹவுஸ் பிரைவேட் லிமிடெட்
சென்னை

அன்புள்ள வாசகரே!

மீர் பதிப்பகம் பலவிதமான விஞ்ஞான, தொழில் நுட்ப நூல்களைத் தமிழ் மொழியில் வெளியிடும். உங்களுக்கு வேண்டிய புத்தகங்கள் எத்தகையவை என்பதையும் இவைகளைப் பற்றிய உங்களது ஆலோசனைகளையும் அபிப்பிராயங்களை யும் நமக்குத் தெரிவிக்கும்படி வேண்டுகிறோம்.

நமது முகவரி:

Mir Publishers, 2, Pervy Rizhski Pereulok, Moscow, USSR.

© தமிழ் மொழிபெயர்ப்பு
மீர் பதிப்பகம். 1984.

மறுபதிப்பு 1993

பொருளடக்கம்

முன்னுரை

இப்புத்தகத்தை வாசிக்கத் தொடங்கும் முன்னர், வாசகரின் மனதில் எழும் முதல் கேள்வி ''அனைவருக்கும்'' என்ற தலைப்பைக் கொண்ட இப்புத்தகம் யாருக்காக எழுதப்பட்டது என்பதேயாகும்.

உண்மையில், தலைப்பு சிறிது மிகைப்படத்தான் அமைந்திருக்கிறது. உயர்நிலைப் பள்ளி அளவிலான குறிக் கணக்கு பற்றிய அடிப்படை அறிவே, இப்புத்தகத்தைப் படித்து நன்கு புரிந்து கொள்வதற்குப் போதுமானதாகும். இயற்பியலைப் பற்றிய முன்னறிவு இல்லாதவர்கள் கூட இதனையே முதல் புத்தகமாகப் படித்துப் புரிந்து கொள்ள இயலும். இருப்பினும் இயற்பியலைச் சிறப்புப் பாடமாகக் கொண்டவர்களும் ஆர்வத்துடன் பயிலும் வகையில் இப்புத்தகம் அமைந்திருக்கிறது.

இதனை இனிய எளிய நடையில் எழுத முயற்சி செய்திருக்கிறோம். ஆயினும் ஆங்காங்கே வாசகர்களிடம் சில நகைச் சுவைகளைப் பகிர்ந்து கொள்வதற்கும் நாங்கள் தவறவில்லை. ஆனால் ''அனைவருக்குமான இயற்பியல்'' என்னும் இப்புத்தகம், ஒரு மிக எளிய புத்தகம் என்னும் பொருள் கொள்ளுதல் கூடாது. அதிகக் கவனத்துடன் நீண்ட நேரம் படிக்க வேண்டிய பக்கங்கள் பல இப்புத்தகத்தில் உள்ளன. இயற்பியலைப் புரிந்து கொள்ள வேண்டுமானால் ஒருவர் ஆழ்ந்து கடினமாகச் சிந்திக்க வேண்டியது அவசியம் என்பது நாமறிந்ததே!

இயற்பியலின் அடிப்படை விதிகளையும் கோட்பாடுகளையும் விவரிப்பதே இப்புத்தகத்தின் முக்கிய நோக்கமாயிருந்தாலும் கூட அன்றாட வாழ்க்கையிலும், தொழில் நுட்பவி

[illegible] நாம் ஒவ்வொருவரும் சந்திக்க நேரிடும் சாதாரண நிகழ்ச்சிகளை மேற்கோள் காட்டி இவற்றை விளக்கிக் கூற [illegible]யும் நாம் தவறவில்லை. எனினும் வரையறைக்குட்படாத இயற்பியலின் செயல்முறைப் பகுதியை விளக்கிக் கூறுவது இங்கு நமது நோக்கமல்ல.

இயற்பியலின் செயல்முறைகளை அல்லது அதன் அடிப் படைக் கோட்பாடுகளை முழுவதுமாக விளக்கிக் கூறும் வகையில் சில வரலாற்று உண்மைகள் எடுத்தாளப்பட்டி ருக்கின்றன.

''அனைவருக்குமான இயற்பியல்'' என்ற இப்புத்தகம் இதுவரையில் எந்திரவியல் இயக்கம், மூலக்கூற்று இயக்கம் ஆகியவற்றைப் பற்றியே விவரித்துக் கூறியிருக்கிறது. இதே தலைப்பைக் கொண்ட மற்றொரு புத்தகத்தில், மின்னியல், ஒளியியல், அணுவின் இயல்பமைப்பு ஆகிய பிரிவுகளைப் பற் றியும் வாசகர்கள் படிக்கக் கூடும் என நம்புகிறோம்.

எல். லாண்டாவோ.

ஒன்று

அடிப்படைக் கொள்கைகள்

செண்டிமீட்டரும் விநாடியும்

ஒவ்வொருவரும் அன்றாட வாழ்வில் நீளத்தை அளக்கவும், நேரத்தைக் கணக்கிடவும் பொருட்களின் எடையை அறியவும் வேண்டியிருக்கிறது. ஆகவே ஒவ்வொருவரும் செண்டிமீட்டர், விநாடி மற்றும் கிராம் முதலியன என்ன வென்று அறிந்திருக்கக் கூடும். இந்த அளவுகள் பெரும் பாலான இயற்பியல் இயற்பாடுகளைப் பற்றி அறிந்து கொள்வதற்கு, மிகவும் அவசியமாதலால், இயற்பியல் அறிஞருக்கு இவை மிகவும் இன்றியமையாதவையாகும். இயற்பியலில் அடிப்படைக் கொள்கைகளான தூரம், நேர இடைவெளி மற்றும் எடை ஆகியவற்றினைக் கூடிய மட்டும் துல்லியமாகக் கணக்கிடு வதற்கு மனிதன் முயற்சிக் கிறான்.

இரு—மீட்டர் நீளமான கம்பிகளுக்கிடையேயுள்ள நீள வித்தியாசமானது ஒரு மீட்டரில் மில்லியனில் ஒரு பகுதி யேயானாலுங்கூட நவீன இயற்பியல் கருவிகளின் உதவி கொண்டு நாம் அதனைக் கண்டு கொள்ள இயலும். இது போன்றே ஒரு விநாடியில் மில்லியனில் ஒரு பகுதி வித்தியாச மான இரு நேர இடைவெளிகளை வித்தியாசப்படுத்த முடி

யும். நல்ல தராசின் உதவியால் மிகக் குறைந்த எடையுள்ள பாப்பி விதையின் எடையை அதிக செம்மைப்படித்தரத்துடன் உறுதி செய்ய முடியும்.

ஒரு சில நூற்ருண்டுகளுக்கு முன்ஞல்தான் அளவை நுணுக்கங்கள் வளர்ச்சியடைய ஆரம்பித்தன. எந்த நீளப் பகுதியை நீள அலகாகவும் எந்தப் பொருளின் எடையை எடை அலகாகவும் வைத்துக் கொள்வது என்பது பற்றி மிகச் சமீப காலத்தில் தான் முடிவு எடுக்கப்பட்டது.

சென்டிமீட்டரும் விஞடியும் நாம் இன்று அளவுகளாய் அறிந்திருப்பது போல ஏனிருக்க வேண்டும் என்ற கேள்வி எழுவது இயல்பு. உண்மையில், சென்டிமீட்டரும் விஞடியும் இன்றிருப்பதைவிட அளவுகளில் வித்தியாசமானவைகளாக இருந்திருப்பினும் கூட நடைமுறையில் வித்தியாசமான குறிப்பிடத்தக்க விளைவுகள் எதுவும் இருந்திருக்காது என்பது தெளிவு.

நமக்குத் தேவைப்படுவவெல்லாம் அளத்தற்குரிய அலகு எளிதானதாக இருத்தல் வேண்டும் என்பதே. அளப்பதற்கு ஒரு அளவு கோல் கையிலேயே இருத்தல் எளிது. கையினையே அளவுகோளாய்க் கொள்வது அதனிலும் எளிது என்ற இந்தக் காரணத்தால்தான் அளப்பதற்கு இம்முறையையே திட்டவட்டமாகப் பின்பற்றிஞர்கள். மனித உறுப்புகள் சிலவற்றின் பெயர்களால் பல அலகுகள் வழங்கப்பட்டதே இதற்குச் சான்ருகும். உதாரணமாக, நீட்டிய கையின் முழங்கையிலிருந்து விரல் நுனிகள் வரையிலான தூரம் ஒரு முழம் எனவும் (“el” or “cubit”) கைப் பெரு விரல் அடிப்பாகத்தில் கொண்டுள்ள அகலம் ஒரு அங்குலமாகவும் அழைக்கப்பட்டன. காலின் அடி நீளமும் அளவு கோலாய்ப் பயன்படுத்தப்பட்டதால்தான் அந்த நீள அலகு ‘‘அடி’’ (“foot”) என அழைக்கப்பட்டது.

மனித உறுப்புகளை அளவை அலகுகளாகப் பயன்படுத்

ருவது மிக எளிதாக இருப்பினும், இம்முறையில் சில குறைபாடுகள் உள்ளன என்பது நமக்குத் தெரிந்த விசயமே. கை, கால்களின் நீளங்கள் மனிதனுக்கு மனிதன் வேறுபடுவதால், இவைகளை அடிப்படையாகக் கொண்ட அளவை அலகுகள் கருத்து வேறுபாடின்றி எல்லோராலும் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட மாட்டாது.

வாணிப வளர்ச்சி, ஒரே சீரான அளவை அலகுகளை ஏற்படுத்துவதற்கு வழி கோலியது. நீளம், எடை ஆகியவற்றின் திட்ட அளவுகள் (standards) ஒரு தனிப்பட்ட சந்தைக்காகவும், பின்பு ஒரு நகரத்திற்காகவும், அதன் பின் ஒரு தேசம் முழுவதற்காவும் முடிவாக உலகம் முழுவதற்குமாகவும் ஏற்படுத்தப்பட்டன. ஒரு மட்டப் பலகை (ruler) ஒரு குறிப்பிட்ட எடை போன்ற மாதிரி அளவுகளே திட்ட அளவுகளாய் இருக்கின்றன. உபயோகத்திலிருக்கிற ஏனைய அளவை அலகுகளும் மேற்கூறிய திட்ட அளவுகளோடு ஒத்திருக்குமாறு பார்த்துக் கொள்ளுதல் அவசியமாகும்.

சார் காலத்து ருசியாவில் பவுண்டு மற்றும் ஆர்சின் முறையே எடை மற்றும் நீளம் ஆகியவற்றின் அடிப்படை அளவை அலகுகளாய் 1747ம் ஆண்டில் புகுத்தப்பட்டன. 19ம் நூற்றூண்டில் அதிகத் துல்லியமாக அளக்க வேண்டிய தன் அவசியம் அதிகரித்ததனுல் மேற்கூறிய இத்திட்ட அளவுகள் குறைபாடுடையவைகளாகக் கருதப்பட்டன. மிகச் சரியான திட்ட அளவுகளை உருவாக்கும் சிக்கலான, பொறுப்பு வாய்ந்த பணியானது தாமிற்றி இவானேவிச் மாண்டலீவின் மேற் பார்வையில் 1893—1898 ஆகிய ஆண்டுகளுக்கு இடைப்பட்ட காலத்தில் செய்து முடிக்கப்பட்டது. மிகச் சரியான திட்ட அளவுகளின் முக்கியத்துவத்தை உணர்ந்த, சிறந்த வேதியல் அறிஞர் மாண்டலீவின் பெரு முயற்சியாய் 19ம் நூற்றூண்டின் முடிவில் மத்திய எடை மற்றும் அளவுகள் கழகம் ஒன்று நிறுவப்பட்டது. இங்கு சரியான

[illegible] (டு) வருவதோடு அதன் [illegible] (டு) வருகின்றன.

[illegible]ளில் சில பெரிய அலகுகளாலும் மற்றும் சில சிறிய அலகுகளாலும் குறிக்கப் பெறுகின்றன. நடைமுறையில், மாஸ்கோவிலிருந்து லெனின்கிராட் வரையிலான தூரத்தைச் சென்டிமீட்டர்களிலும் அல்லது ஒரு புகை வண்டியின் எடையைக் கிராம்களிலும் குறிப்பதற்கு நாம் எண்ணுவதில்லை. எனவே பெரிய அலகுகளுக்கும், சிறிய அலகுகளுக்கும் இடையே திட்டவட்டமான தொடர்பு இருக்க வேண்டியதன் அவசியத்தை மக்கள் உணர்ந்தார்கள். நாம் உபயோகிக்கிற அலகு முறைகளில் பெரிய அலகுகள் 10, 100 மற்றும் 1000 அல்லது பொதுவாக பத்தின் விசைப் பெருக்கங்களால் வித்தியாசப்படுகின்றன என்பது நாம் யாவரும் அறிந்ததே. இத்தகைய ஒரு முறை மிகவும் எளிமையானதாய் இருப்பதுடன் எல்லாக் கணக்கீடுகளையும் எளிதாக்குகின்றது. இருப்பினும் இவ்வெளிய முறை எல்லா நாடுகளிலும் பின்பற்றப்படுவதில்லை. மெட்ரிக் முறைமையின் எளிமைகளை, தகை நலங்களை நன்கு தெரிந்திருந்துங்கூட இங்கிலாந்திலும் அமெரிக்காவிலும் மீட்டர், கிலோமீட்டர், மேலும் கிராம் மற்றும் கிலோகிராம் முதலிய அலகுகள் பரவலாகப் பழக்கத்தில் இல்லை.*

---

*இங்கிலாந்தில் கீழ்க்கண்ட நீள அலகுகள் உத்தியோகப் பூர்வமாக நடைமுறையில் உள்ளன: ஒரு கடல் மைல்—1852 மீட்டர், ஒரு மைல்—1609 மீட்டர், ஒரு அடி—12 அங்குலம்—30· 48செ.மீ, ஒரு அங்குலம்—2.54 செ.மீ, ஒரு கஜம்—0.9144 மீட்டர்; கஜம் என்ற அலகு முழு ஆடை தொகுதிக்குத் தேவையான துணியின் அளவைக் குறிப்பதற்குத் தையற்காரர்களால் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

ஆங்கிலேய சாக்சன் நாடுகளில் பவுண்டு (454 கிராம்) என்னும் அலகின் மூலம் எடைகள் கணிக்கப்படுகின்றன. பவுண்டின் சிறிய பகுதிகள், ஒன்று அவுன்ஸ் 1/16 பவுண்டு)

காலத்தால் மாறுததும், இயற்கையாகவே அமையப் பெற்றதுமான ஒன்றைத் திட்ட அளவாகத் தெரிந்தெடுக்க வேண்டும் என்னும் எண்ணம் 17ம் நூற்றுண்டில் தோன்றியது. ஒரு விஞடிக்கு ஒரு அலைவு செய்யக் கூடிய ஒரு ஊசலியின் நீளத்தை நீள அலகாக எடுத்துக் கொள்ளும் முறையைக் கிறிஸ்டியன் ஹாஜென்ஸ் என்பவர் 1664ம் ஆண்டில் ஏற்படுத்திஞர். ஏறத்தாள ஒரு நூற்றுண்டுக்குப் பின்னர், 1771ம் ஆண்டில் தடையின்றி விழும் பொருள் முதல் ஒரு விஞடி நேரத்தில் கடக்கும் தூரத்தை நீளத்தின் திட்ட அளவாகக் கொள்ளலாம் என்னும் கருத்துத் தெரிவிக்கப்பட்டது. ஆயினும் இவ்விரு மாறும் தன்மையுள்ள முறைகளும் பொருத்தமற்றவை என்று நிரூபிக்கப்பட்டு நிராகரிக்கப்பட்டன. நவீன அளவை அலகுகள் தோன்றுவதற்கு ஒரு பெரும் புரட்சியே அவசியமாயிருந்தது. இதுதான், கிலோகிராம், மீட்டர் முதலிய அலகுகளைத் தந்த மாபெரும் பிரெஞ்சுப் புரட்சியாகும்.

ஒருமைப்படுத்தப்பட்ட அளவை அலகுகளை ஏற்படுத்துவதற்காக இயற்பியல் மற்றும் கணிதவியல் அறிஞர்களைக் கொண்ட தனிக்குழு ஒன்றை 1790ம் ஆண்டில் பிரெஞ்சு மக்கள் சபை அமைத்தது. அக்குழு தன்னிடம் தெரிவிக்கப்பட்ட ஒரு நீள அலகுபற்றிய, மாறுபட்ட பல கருத்துக்களிலிருந்தும், பூமியின் உச்சி வட்டத்தின் கால் பகுதியில் பத்து மில்லியனில் ஒரு பங்கினை நீள அலகாகத் தேர்ந்தெடுத்து, இந்த அலகுக்கு ஒரு மீட்டர் என்ற பெயரையும் சூட்டியது. இதன் திட்ட அளவு 1799ம் ஆண்டில் தயாரிக்கப்பட்டுப் பாதுகாப்பாக இருப்பதற்காகப் பிரெஞ்சுக் குடி

மற்றொன்று குன்று மணி (grain) *(1/7000 பவுண்டு)* என அழைக்கப்படுகின்றன. இந்த அலகுகள் மருந்துகளை நிறுப்பதற்காக மருந்துக் கடைக்காரர்களால் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

யரசின் தொல்பொருள் காப்புக் கழகத்திடம் ஒப்படைக் கப்பட்டிருக்கிறது.

இயற்கை அமைப்பிலிருந்தும் ஒன்றை நமது அளவை களின் மாதிரியாக எடுத்துக் கொள்ளுவது பற்றிய அறிமு றைச் சோதனை எண்ணத்தை முழுமையாக நடைமுறைப்ப டுத்த முடியாது என்பது வெகு சீக்கிரமே தெளிவாகியது. அதாவது ஒரு மீட்டருக்கான திட்ட அளவானது பூமியின் உச்சி வட்ட அளவில் நாற்பது மில்லியனில் ஒரு பங்கினை விட ஏறக்குறைய 0.08 மி.மீ குறைவாயிருப்பதை 19ம் நூற்றுண்டில் செய்யப்பட்ட மிகத் துல்லியமான அளவீடு கள் நிரூபித்தன. அளவை நுணுக்கத் திறனின் வளர்ச்சியா னது புதிய திருத்தங்கள் புகுத்தப்படுவதின் அவசியத்தை ஏற்படுத்தியுள்ளது. ஒரு மீட்டர் எனப்படுவது பூமி யின் உச்சிவட்டத்தின் ஒரு பகுதியாக வரையருக்கப்பட்ட தை விடாது வைத்திருக்க வேண்டுமாயின், ஒவ்வொருமுறை யும் அதை அளவிட்ட பின்னர் ஒரு புதிய திட்ட அளவு குறிக் கப்பட்டு இதற்கேற்ப எல்லா நீளங்களையும் மாற்றியமைக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. ஆகவேதான், உச்சிவிட் டத்தின் நாற்பது மில்லியனில் ஒரு பங்காகக் கொள்வதைக் காட்டிலும் 1799ம் ஆண்டு வரையருக்கப்பட்டு பாரீசுக்கு அருகில் உள்ள சிலியர்ஸ் என்ற இடத்தில் அமைந்திருக் கும் எடைகள் மற்றும் அளவை கழகத்தில் ஒப்படைக்கப் பட்ட மீட்டர் அளவையே நீளத்தின் அலகாகக் கொள்வ தென 1870, 1872 மற்றும் 1875ம் ஆண்டுகளில் கூடிய சர்வ தேசக் குழுக்களின் விவாதங்களுக்குப் பின்னர் முடிவு செய்யப்பட்டது.

மீட்டரின் வரலாறு இத்துடன் முடிவடைவதில்லை. இன் றைய சூழ்நிலையில் புதிய இயற்பியல் கருத்துக்கள் இந்த அடிப்படை அளவின் வரையறுப்பின் ஆதாரமாக அமைகின் றன. நீள அலகானது அதிக சாமர்த்தியத்துடன் இயற்கை

யின் அமைப்பிலிருந்தே மறுபடியும் எடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

மீட்டரோடு அதன் பகுதி அளவாக ஆயிரத்தில் ஒரு பகுதியானது **மில்லிமீட்டராகவும்** மில்லியனில் ஒரு பகுதியானது **மைக்ரானாகவும்**, அடிக்கடி உபயோகப்படக்கூடிய நூற்றிலொரு பகுதியானது **சென்டிமீட்டராகவும்** குறிக்கப்பட்டன.

வினாடி பற்றிய சில செய்திகளை நாம் இங்குப் பார்ப்போம். இது சென்டிமீட்டரைக் காட்டிலும் மிகப் பழமையானது. நேரத்தைக் கணிக்கும் அலகு ஒன்றைத் தேர்வு செய்வதில் எவ்வித கருத்து வேறுபாடுகளும் தோன்றவில்லை என்பதை நாம் புரிந்து கொள்ளக் கூடும். இரவும் பகலும் மாறி வருவதும் நிலை பேருடைய பூமியின் சுழற்சியும் ஒரு நேர அலகைத் தெரிவு செய்வதற்கு இயற்கையான வகையை அமைத்துக் கொடுக்கின்றன. ''சூரியனைப் பார்த்து நேரத்தைக் கணக்கிடு'' என்னும் சொற்றொடர் அனைவரும் அறிந்ததே: சூரியன் உச்சி வானில் இருக்கும் நேரம் நண்பகல் எனக் கொள்ளப்படும். ஒரு கம்பத்தினது நிழலின் நீளத்தை அளப்பதன் மூலமாக சூரியன் உச்சியிலிருக்கும் நேரமாகிய நண்பகலை உறுதி செய்தல் எளிதாயிருக்கிறது. அடுத்த நாளும் இதே முறையில் இப்பொழுதைக் குறித்துப் பின்னர், இவ்விரு நண்பகல்களுக்கும் இடைப்பட்ட நேரம் ஒரு நாளாக அமைகிறது. ஒரு நாளை மணி, நிமிடம் மற்றும் வினாடி என்று மேலும் பகுத்தலே நாம் இன்னும் செய்ய வேண்டியதாயிருக்கிறது.

பெரிய நேர அலகுகளான வருடம், நாள் ஆகியவை இயற்கையால் மனிதனுக்கு அளிக்கப்பட்டவையாகும். சிறிய நேர அலகுகளான மணி, நிமிடம், வினாடிபோன்றவை மனிதனால் பகுக்கப்பட்டவையாகும்.

நவீன காலத்திய நாள் பகுப்பு முறை உண்மையில் மிகப் பழங்காலத்திலேயே தோன்றியதாகும். தசம் எண்

முறையைவிட, ஆறு என்ற எண்ணை அடிப்படையாகக் கொண்ட முறையே (sexagesimal) பண்டைய பாபிலோனில் அதிகமாக வழக்கில் இருந்து வந்தது. ஆகவேதான், 60 ஆனது 12 ஆல் மீதமின்றி வகுக்கப்படுவதால் பாபிலோனியர்கள் ஒரு நாளை 12 சமபாகங்களாகப் பிரித்தார்கள்.

ஒரு நாளை 24 பகுதிகளாகப் பிரிக்கும் முறை பழங்கால எகிப்தில் தோன்றியதாகும். நிமிடங்களும் விஞடிகளும் பிற்காலத்தில் தோன்றின. ஒரு மணிக்கு 60 நிமிடங்கள், ஒரு நிமிடத்திற்கு 60 விஞடிகள் என்ற முறையும் பாபிலோனியர்களின் ஆறு என்ற எண்ணை அடிப்படையாகக் கொண்ட எண் முறையின் அடிப்படையில் எழுந்ததே.

புராதன மற்றும் மத்திய காலங்களில் சூரியக்கடிகாரங்கள், நீர்க்கடிகாரங்கள் (பெரிய பாத்திரங்களிலிருந்தும் நீர் சொட்டுச் சொட்டாக வடிவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளக் கூடிய நேரத்திலிருந்து போன்ற இன்னும் பல எளிய, ஆஞல் துல்லிய மற்ற கருவிகளால் நேரம் கணக்கிடப்பட்டது.

ஒரு வருடத்தின் எல்லாப் பருவங்களிலும் நாள் நீடிக்கும் நேரம் சமமாக இருப்பதில்லை என்ற உண்மையை நவீன காலக் கடிகாரங்களின் உதவியால் ஒருவரால் எளிதில் புரிந்து கொள்ள முடிகிறது. எனவேதான் ஒரு வருடத்தின் சராசரி சூரிய நாளின் அளவை, நேர அலகாகக் கொள்வதென வரையறுக்கப்பட்டது. ஆண்டுவாரியான இச்சராசரி நேர இடைவெளியில் இருபத்து நான்கில் ஒரு பங்கினை ஒரு மணிநேரம் என்று நாம் அழைக்கிறோம்.

ஆஞல், ஒரு நாளினைச் சமபாகங்களாகப் பிரித்து மணி, நிமிடம், விஞடி போன்ற நேர அலகுகளை ஏற்படுத்துகையில், பூமி ஒரே சீராகச் சுழல்கிறது என்று நாம் தற்கோள் கொள்கிறோம். சூரியன்—சந்திரன் ஆகியவற்றிஞல் ஏற்படும் கடல் அலைகளின் எழுச்சியானது, மிக

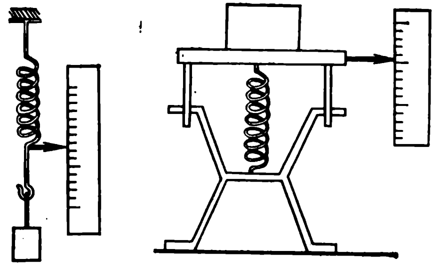
நுண்ணிய அளவில் பூமியின் சுழற்சியைத் தாமதப்படுத்துகிறது. இவ்வாருக நமது நேர அலகாகிய நாளின் கால அளவு இடையருது அதிகமாகிக் கொண்டிருக்கிறது.

ஒரு விஞடியில் மில்லியனில் ஒரு பங்கிற்குச் சரியான நேர இடைவெளிகளைக் கணக்கிடக் கூடிய அணுக்கடிகாரத்தைக் கண்டுபிடித்த பின்னர்தான், இக்குறிப்பிலடங்காத பூமியின் சுழற்சியில் ஏற்படும் தாமதத்தை நேரடியாகக் கணிக்க முடிந்தது. இக்கணக்கின்படி ஒரு நாள் நீடிக்கும் நேரமானது நூற்ருண்டுகட்கு ஒருமுறை ஒன்றிலிருந்து இரு மில்லியன் விஞடிகள் வரை வித்தியாசப்படுகிறது.

ஆயினும், ஒரு திட்ட அளவானது கூடிய மட்டும் இம்மாதிரி குறிப்பிடத்தகாத வேறுபாடுகளைக்கூடக் கொண்டிருத்தல் ஆகாது. சமீப கால வரையறையின்படி ஒரு விஞடியானது ஒரு முழு நிறைவான திட்ட வருடத்தின் 1/31556925.9747 பங்காக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறதே தவிர ஒரு சராசரி சூரிய நாளின் ஒரு பகுதியாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதில்லை.

எடையும் பொருண்மையும்

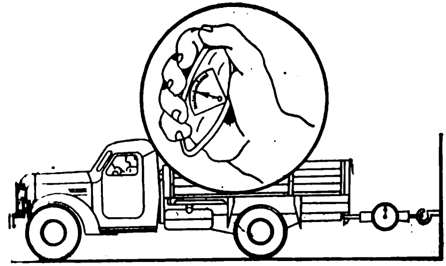
ஒரு பொருள் பூமியை நோக்கி இழுக்கப்படுகிற விசையே அதன் எடை எனப்படும். இவ்விசையை ஒரு வில் தராசின் மூலம் அளக்கலாம். பொருளின் எடை அதிகமானதால் அது தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிற வில்லும் அதிகமாக நீட்சியுறுகிறது. ஒரு திட்டமான எடையை அலகாகக் கொண்டு ஒரு வில்தராசை வரையறுக்க இயலும். உதாரணமாக ஒரு கிலோகிராம், இரண்டு கிலோகிராம், மூன்று கிலோகிராம் போன்ற எடைகள் வில்லை எவ்வளவு தூரம் நீட்டுகின்றன என்பனவற்றைப் பற்றிக் குறியீடுகள் செய்து



படம் 1 அ ஆ

கொள்ளமுடியும். இதன் பின்னர், இத்தகைய தராசில் ஒரு பொருள் தொங்கவிடப்பட்டால், ஏற்படுகிற வில்லின் நீட்சியிலிருந்தும் (படம் 1அ) அப்பொருள் பூமியால் இழுக்கப்படுகிற விசையை (ஈர்ப்பு ஆற்றல்) கிராமில் தெரிந்து கொள்ள இயலும். எடைகளைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு நீட்சியுறுகிற வில்தராசுகளை மட்டுமின்றி குறுக்கமுறு வில்தராசுகளையும் (படம் 1ஆ) நாம் உபயோகிக்கிறோம். பல்வேறு வகையான திண்மையுடைய விற்களை உபயோகித்து மிகச் சிறிய மற்றும் மிகப்பெரிய எடைகளை நிறுக்கும் தராசுகளைச் செய்தது சாத்தியமாகிறது. இந்தத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில், வாணிபத்தில் உபயோகப்படுகிற துல்லியம் குறைந்த தாரசுகள் மட்டுமின்றி, இயற்பியல் அளவைகளுக்குப் பயன்படுத்தப்படுகிற மிகத் துல்லியமான கருவிகளும் செய்யப்படுகின்றன.

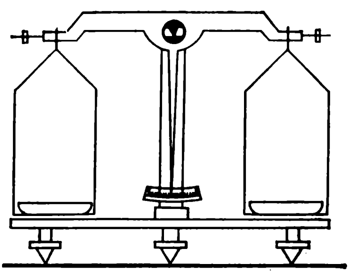
எடை என்று அழைக்கப்படும் பூமியின் ஈர்ப்பு விசையை மட்டுமின்றி ஏனைய விசைகளை அளப்பதற்கும் அளவுக் குறியீடு செய்யப்பட்ட வில் (calibrated spring) பயன்படுகிறது. இத்தகையதொரு கருவியானது, டைனமோமீட்டர் என அழைக்கப்படுகிறது. டைனமோமீட்டர் என்றால்



படம் 2

விசைகளை அளவிடும் கருவி என்பது பொருளாகும். ஒருவரின் தசை பலத்தை மதிப்பிடுவதற்கு டைனமோமீட்டர் எவ்வாறு பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதைப் பற்றி நாம் அறிந்திருக்கலாம். வில்லின் நீட்சியின் மூலமாக (படம் 2) விசைப் பொறியின் (motor) இழுவிசையை அளப்பது எளிதாயிருக்கிறது.

ஒரு பொருளின் மிக முக்கியமான குணதிசயங்களில் அதன் எடையும் ஒன்றாகும். எனினும் எடையானது பொருளை மட்டுமே பொறுத்ததல்ல. உண்மையில் பூமி அப்பொருளை ஈர்க்கிறது. நாம் சந்திரனில் இருந்தால் நிலைமை எப்படியிருக்கும் என்பதை எண்ணிப்பாருங்கள். அதன் எடை வித்தியாசமாக இருக்கும் என்பது நமக்குத் தெரிந்ததே. சந்திரனில் ஒரு பொருளின் எடையானது பூமியிலிருப்பதைவிட ஆறுமடங்குகள் குறைவாயிருக்கும் எனக் கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. பூமியில் கூட வெவ்வேறு இடங்களில், அதன் நடுவரை கடந்துள்ள அட்சரேகையைப் (latitude) பொறுத்து ஒரு பொருளின் எடை மாறுபடுகிறது. உதாரணமாக நிலநடுக்கோட்டில் இருப்பதைக் காட்டிலும் துருவத்தில் ஒரு பொருளின் எடை 0.5 சதம் அதிகமாக இருக்கிறது.



படம் 3

ஆயினும் இத்தகைய மாறுந்தன்மைகளுக்கு மத்தியிலும் எடையானது குறிப்பிடத்தக்க ஒரு தனித் தன்மையைப் பெற்றிருக்கிறது. பரிசோதனைகளின் முடிவுகளின்படி இருபொருள்களின் எடைகளின் விகிதங்கள் எந்தச் சூழ்நிலையிலும் மாறாமலிருக்கிறது. துருவத்தில் இரு வேறுபட்ட பகுதிகளானது ஒரு வில்லைச் சமமாக நீட்சியுறச் செய்தால், நிலநடுக்கோட்டிலும் இச்சமநிலை அப்படியே நீடிக்கிறது.

எடையின் ஒரு திட்ட அளவுடன் ஒப்பிட்டு, ஒரு எடையை அளக்கும் பொழுது பொருட்களின் புதுக் குணதிசியம் ஒன்றை நாம் காண்கிறோம். இதுவே அப்பொருளின் பொருண்மை என அழைக்கப்படுகிறது.

பொருண்மை என அழைக்கப்படும் இப்புதிய கோட்பாட்டின் இயற்பியல் விளக்கமானது, நாம் சற்று முன்னர் பார்த்த எடைகளை ஒப்பிடும் சமநிலையுடன் நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டிருக்கிறது.

எடையைப் போல் அல்லாமல், பொருண்மையானது ஒரு பொருளின் மாறாத தன்மையாகும். பொருண்மையானது அப்பொருளை மட்டுமேயன்றி வேறெதையும் சார்ந்தது அல்ல.

எடைகளை ஒப்பிடுதல், அதாவது பொருண்மையின் ஒரு அளவீடு சாதாரண தராசுகளின் (படம் 3) உதவியால் மிக எளிதாகச் செய்யப்படுகிறது. இரண்டு பொருட்களை ஒரு தராசின் இரு தட்டுகளிலும் வைத்த பின்னர் அந்தத்

தராசு முழுவதுமாகச் சமநிலையில் இருக்குமாயின், இவ்விரு பொருட்களின் பொருண்மைகளும் சமமாயிருக்கின்றன என நாம் கூறுகிறோம். நிலநடுக்கோட்டில் ஒரு பளுவானது ஒரு தராசில் சரியீடு செய்யப்பட்டிருப்பதாக வைத்துக் கொள்ளுங்கள். அதே பளுவையும் எடைக் கற்களையும் நாம் துருவத்துக்குக் கொண்டு சென்றால், பளு மற்றும் எடைக் கற்களின் எடைகள் சமமாகவே மாறுகின்றன. ஆகவேதான் துருவத்தில் நிறுத்தாலுங்கூட, தராசு சமநிலையிலிருந்து, அதே முடிவைக் கொடுக்கிறது.

இதே நிலைமையை நாம் சந்திரனிலும் காண முடிகிறது. அங்கேயும்,பொருட்களின் எடைகளின் விகிதம் மாறாமலிருப்பதால் ஒரு தராசில் வைக்கப்பட்ட பளுவானது சந்திரனிலும் அதே எடைகளால் சரியீடு செய்யப்படுகிறது. எங்கிருந்தாலும் ஒரு பொருளின் பொருண்மையானது மாறாமலிருக்கிறது.

பெருண்மை, எடை ஆகியவற்றின் அலகுகள் ஒரு திட்டமான எடையைத் தேர்ந்தெடுப்பதைச் சார்ந்திருக்கின்றன. மீட்டர், வினாடி ஆகியவற்றின் அலகுகளைத் தேர்ந்தெடுப்பதில் ஏற்பட்டது போலவே பொருண்மைக்கும் இயல்பான திட்ட அளவு ஒன்றைக் கண்டுபிடிக்க மனிதன் முயற்சித்தான். 4 டிகிரி சென்டிகிரேடு வெப்பநிலையில்*

---

* இவ்வெப்பநிலை தற்செயலாகத் தேர்ந்தெடுக்கப்படவில்லை. இதன் முக்கியத்துவமானது மற்ற பொருட்களைப் போலல்லாமல், சூடேற்றும் பொழுது நீரின் கன அளவானது மிகவும் வித்தியாசமான முறையில் மாறுதலடைகிறது என்ற உண்மையே அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கிறது. சூடாக்கும் பொழுது இயல்பாக எல்லாப் பொருட்களும் விரிவடைகின்றன என்பதை நாம் அறிவோம். ஆனால் வெப்பநிலை 0 சென்டிகிரேட்டில் இருந்து 4 சென்டிகிரேடுக்கு மாறும் வரை தண்ணீர் சுருக்கமடைகிறது. 4 சென்டிகிரேடு தாண்டிய பின்னரே விரிவடையத் தொடங்குகிறது. ஆகவே 4 செ. கிரேடு எனப்படுவது, தண்ணீர் சுருக்கமடைவதை நிறுத்தி விரிவடையத் தொடங்குகிற வெப்பநிலையாகும்.

ஒரு கன டெசிமீட்டர் தண்ணீரின் எடைக்குச் சமமான எடையைத் தயாரிப்பதற்கு முன்னர் கூறிய அதே குழு ஒரு குறிப்பிட்ட உலோகக் கலவையைப் பயன்படுத்தியது. இத்திட்ட அளவு கிலோகிராம் எனப் பெயரிடப்பட்டது.

ஆயினும், ஒரு கன டெசிமீட்டர் நீரை உபயோகித்து ஒரு அலகை வரையறுப்பது அவ்வளவு சுலபமான காரியம் அல்ல என்பது பின்னர் தெளிவானது. முதலாவதாக, மீட்டரின் திட்ட அளவை நுண்ணிய வேறுபாட்டின் காரணமாகத் திருத்தும் பொழுது ஒரு மீட்டரின் பகுதியாகக் குறிக்கப்பட்டிருக்கிற டெசிமீட்டர் அளவு மாறுதலடைகிறது. இரண்டாவதாக வேதியலின்படி சுத்தமான நீர் அல்லது இருமுறை ஆவியாக்கி வடிக்கப்பட்ட நீர் அல்லது காற்று சிறியளவு கூட இல்லாத நீர் ஆகிய இவற்றில் எவ்வகையான நீரை நாம் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்? கனநீர் கலவையை எவ்வாறு கையாளுவது? இவற்றிற்கெல்லாம் மேலாக, எடையைக் கணிப்பதைக் காட்டிலும் கன அளவை அளப்பது மிகவும் துல்லியக் குறைவானதாகவே இருக்கிறது.

ஒரு இயல்பான அலகை நிராகரித்துவிட்டு, பிரத்யேகச் செய்யப்பட்ட ஒரு எடையை பொருண்மையின் அலகாக ஏற்றுக் கொள்ள வேண்டிய அவசியம் மறுபடியும் ஏற்பட்டது. மீட்டரின் திட்ட அளவுடன் சேர்த்து இந்த எடையும் பாரீஸில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

ஒரு கிலோகிராம் எடையில் ஆயிரத்தில் ஒரு பகுதியாகிய கிராம், மில்லியனில் ஒரு பகுதியாகிய மில்லிகிராம் ஆகியவை பொருண்மையை அளப்பதற்காகப் பரவாக உபயோகத்திலிருக்கின்றன. பூமியின் 45 வது இணைத் தொலைவு கோட்டின் மீது ஒரு குறிப்பிட்ட எடையின் எடையையே ஒரு கிலோகிராம் என அழைக்கப்பட்டு கி.கி.வி (கிலோகிராம் விசை) (Kgf) என குறிக்கப்படுகிறது.

இந்த எடையின் பொருண்மையும் 1 கிலோகிராம் என அழைக்கப்பட்டு கி. கி (கிலோகிராம்) (Kg) எனக் குறிக்கப்படுகிறது. இந்த எடையின் பொருண்மையானது சந்திரனின் மீதும் 1கி. கி ஆகத்தான் இருக்கும். ஆனுல் இதன் எடையானது ஏறக்குறைய 0. 17கி.கி.வி ஆக மாறக் கூடும். இப்படியாக, விசையும் பொருண்மையும் ஒரே பெயருடைய அளவு அலகுகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இந்நிலைமையானது, எடை, பொருண்மை ஆகியவற்றிற்கிடையேயான தொடர்புகளை நாம் புரிந்து கொள்ளுவதில் கருத்தார்ந்த குழப்பத்தை உண்டு பண்ணுகிறது.

இக்கேள்விகளைத் தெளிவுபடுத்துவதற்காக எடைகள் மற்றும் அளவுகளின் பத்தாவது, பதினொன்ருவது (1960) பொது மாநாடுகள் ஒரு புதிய சர்வதேச அலகுமுறை (SI) ஒன்றை ஏற்படுத்தியது. இம்முறையை அநேகமாக அனைத்து நாடுகளும் தேசீய திட்ட அளவுகளாக அங்கீகரித்தன. இப்புதிய முறையில் கிலோகிராம் (கி.கி) என்னும் பெயரைப் பொருண்மையே தக்கவைத்துக் கொண்டது. புதிய முறையில், எடை உள்ளடங்கிய விசைகள் அனைத்தும் நியூட்டன் (N) களில் அளவிடப்பட்டன. இந்த அலகுக்கு ஏன் இப்படிப் பெயர் சூட்டப்பட்டது? இந்த அலகு எவ்வாறு வரையறுக்கப்பட்டது என்ற கேள்விக்கான விடையை நாம் சற்றுப் பின்னுல் பார்ப்போம்.

புதிய அலகு முறையானது உடனேயே உலகம் முழுவதுமாக அமுலுக்கு வராது என்பதில் எவ்வித சந்தேகமும் இல்லை. ஆகவே ஒரு கிலோகிராம் (கி.கி) பொருண்மையும் ஒரு கிலோகிராம் விசையும் (கி.கி.வி) இரு வேறுபட்ட அலகுகள் என்பதனை நாம் நினைவில் கொள்வது மிகவும் உதவியாக இருக்கிறது. மேலும் இவற்றின் மீது நாம் எண் கணிதச் செயல்முறைகளைச் செய்யும் பொழுது, அவை இரு வேறுபட்ட பருப்பொருள் எண்களாகக் கொள்ளுதல் அவசி

யமாகும். 5கி.கி+2கி.கி=7 என்று எழுதுவது, மீட்டர் களையும் விஞுடிகளையும் கூட்டுவது போன்று அர்த்தமற்றதா யிருக்கிறது.

அடர்த்தி

''இப்பொருள் ஈயத்தைப் போன்று கனமாயிருக்கிறது'', ''இப்பொருள் இறகு போன்று இலேசாயிருக்கிறது'' என்று நாம் கூறும் பொழுது நாம் எதைக் குறிக்கிறேம்? ஒரு சிறு ஈயக் குண்டானது இலேசாயிருக்கும் என்பதும் ஒரு பெரிய இறகுக் குவியலானது அதிகக் கனமாயிருக்கும் என்பதும் மிகத் தெளிவாகத் தெரிந்தவையே! இத்தகைய ஒப்பீடுகளை உபயோகப்படுத்துபவர்கள், பொருள்களின் பொருண்மையை மனதில் கொள்ளாமல், அப்பொருள் ஆக்க ப்பட்டிருக்கும் பருப்பொருளின் அடர்த்தியையே மனதில் கொண்டிருக்கின்றனர்.

ஒரு அலகு பருமனுடைய ஒரு பொருளின் பொருண் மையே அதன் அடர்த்தி என்று அழைக்கப்படுகிறது. ஒரு சிறு ஈயக்குண்டும், மிகக் கனமான மிகப்பெரிய ஈயப்பாள மும் ஒரே அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கின்றன என்பது நாமறிந்ததே.

அடர்த்தியைக் குறிக்கும் பொழுது, பொருளின் ஒரு கன செ. மீ (செ. மீ^{3}) எவ்வளவு எடையைக் கொண்டிருக் கிறது என்பதனை நாம் முதலில் ஒரு எண் மூலம் காட்டுகி றேம். இந்த எண்ணுக்குப் பின்னர் கி/செ. மீ^{3} என்ற இடு குறியை நாம் சேர்க்கிறேம். அடர்த்தியைக் கண்டு பிடிக்க வேண்டுமாயின் நாம் கிராம்களின் எண்ணிக்கையை கன செ. மீகளின் எண்ணிக்கையால் வகுக்க வேண்டும். இடு குறியில் அமைந்திருக்கும் பகுதிக்கோடு, இதை நமக்கு நினை வுபடுத்துகிறது.

22. 5 கி/க.செ.மீ என்னும் அடர்த்தியையுடைய ஆஸ்மியம், 22. 4 கி/க.செ.மீ அடர்த்தியுடைய இருடியம், 21.5 கி/க. செ. மீ அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ள பிளாட்டினம், 19.3 கி/க. செ. மீ அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ள டங்ஸ்டன் மற்றும் தங்கம் ஆகிய உலோகங்கள் மிகக் கனமான பருபொருளில் சிலவாகும். இரும்பின் அடர்த்தி 7. 88 ஆகவும், தாமிரத்தின் அடர்த்தியானது 8. 93 ஆகவும் இருக்கின்றன.

மக்னீசியம் (1. 74), பெரிலீயம் 1. 83), அலுமினியம் (2. 70) ஆகியவை மிக இலேசான உலோகங்களாகும். கரியச் சேர்க்கைப் பொருட்கள் (organic materials) சில இன்னும் இலேசானவைகளாகும். உதாரணமாக, பல தரப்பட்ட மரங்கள், குழைமைப் பொருட்கள் (plastic) போன்றவை 0. 4 அளவிலான குறைந்த அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கலாம்.

நாம் தொடர்விணைப்புள்ள பொருட்களைப் பற்றியே பார்த்துக் கொண்டிருக்கிறோம் என்பதனை முன்வரை செய்து கொள்ளவேண்டும். ஒரு திடப்பொருளில் நுண்துளைகள் இருப்பின், அது இலேசானதாக இருக்கும் நுண்துளைகளுடைய பொருட்களாகிய தக்கை, நுரைக்கண்ணாடி போன்றவை தொழில் நுணுக்கத் துறையில் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நுரைக்கண்ணாடிச் செய்யப்படுவதற்குப் பயன்படும் திடப் பருப்பொருளின் அடர்த்தி ஒன்றைவிட அதிகமாயிருந்தாலும், நுரைக்கண்ணாடியின் அடர்த்தி 0.5 கி/க. செ.மீட்டரைவிடக் குறைவாகவே இருக்கிறது. ஒன்றுக் குறைவான அடர்த்தியைக் கொண்ட ஏனைய பொருட்களைப் போலவே நுரைக்கண்ணாடியும் தண்ணீரில் அருமையாக மிதக்கிறது.

மிகவும் குறைந்த வெப்பநிலையில் கிடைக்கப் பெறுகிற திரவ ஹைடிரஜன்தான் திரவங்களுள் மிகவும் இலேசானதாகும். ஒரு கன செ.மீ. திரவ ஹைடிரஜனின் பொருண்மை

0.07 கிராம் ஆகும். கரிமத்திரவங்களாகிய ஆல்கஹால், பென்சீன், மண்ணெண்ணெய் ஆகியவை கிட்டத்தட்ட தண்ணீரின் அடர்த்தியையே கொண்டிருக்கின்றன. பாதரசம் மிகக் கனமானதாகும். இது 13. 6 கி/செ. மீ^{3} என்னும் அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ளது.

வாயுக்களின் அடர்த்தியை எவ்வாறு குறிப்பிடுவது என்னும் கேள்வி எழலாம்? ஏனென்ருல் வாயுக்களானது, கொடுக்கப்பட்ட கன அளவு எதுவாயிருந்தாலும் அதை அடைத்துக் கொள்ளும் தன்மை உடையன என்பது நாமறிந்ததே.

வித்தியாசமான கன அளவுகளையுடைய பாத்திரங்களுள் ஒரே பொருண்மையுடைய வாயு அடைக்கப்பட்ட வாயுப் பைகளை நாம் திறந்தால், ஒவ்வொரு பாத்திரத்தினுள்ளும் வாயு சீராகப் பரவியிருக்கிறது. இப்படியிருக்கும்போது நாம் அடர்த்தியை எவ்வாறு வரையறுக்க முடியும்?

சாதாரண நிலைகள் (normal conditions) என்று அழைக்கப்படும், 0°C வெப்பநிலை, ஒரு வளிமண்டல அழுத்தம் ஆகியவற்றின் கீழ், நாம் வாயுக்களின் அடர்த்தியை வரையறுக்கிருேம். சாதாரண நிலைகளில் காற்றின் அடர்த்தி 0. 00129 கிராம்/செ. மீ^{3} ஆகவும், குளோரினின் அடர்த்தி 0. 00322 கி/செ.மீ^{3} ஆகவும் இருக்கின்றன. திரவநிலையிலிருப்பதைப் போலவே வாயுநிலையிலும் ஹைடிடிரஜனே மிகவும் இலேசான வாயுவாகும். இது 0. 00009 கி/செ. மீ^{3} என்னும் அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கிறது.

இதற்கு அடுத்த மிக இலேசான வாயு ஹீலியம் ஆகும். இது ஹைடிரஜனைப் போல இரு மடங்கு அதிக கனமானதாயிருக்கிறது. கார்பன்டையாக்ஸைடு காற்றைப் போன்று 1. 5 மடங்கு அதிகக் கனமுடையதாயிருக்கிறது. இத்தாலியில் நேப்பில்ஸ் நகருக்கு அருகில் புகழ் வாய்ந்த ''நாய் குகை'' ஒன்று உள்ளது. இதன் கீழ்ப்பாகத்திலிருந்து

கார்பன் டையாக்னஸடு வாயுவானது தொடர்ச்சியாகக் கசி கிறது. சிறிது நேரம் அங்கேயே தங்கியிருந்து, பின்னர் மெதுவாகக் குகையிலிருந்து வெளிவருகிறது. இக்குகையி னுள் ஒரு மனிதன் எவ்வித இடர்ப்பாடும் இன்றி நுழைய முடியும். ஆனால் நாய்களுக்கோ, இத்தகையதொரு முயற்சி சாவுக்கு வழிவகுப்பதாகும். ஆகவேதான் குகையின் பெய ரும் இவ்வாறு அமைந்திருக்கிறது.

ஒரு வாயுவின் அடர்த்தியானது, புறநிலைகளாகிய வெப் பநிலை, அழுத்தம் ஆகியவற்றினை அதிகமாகப் பொறுத்தி ருக்கிறது. புற நிலைகளைப் பற்றிய குறிப்பில்லாத வாயுவின் அடர்த்தி அர்த்தமற்றதாகும். திட, திரவப் பொருட்களின் அடர்த்திகளும், அழுத்தத்தையும், வெப்பநிலையையும் சார்ந்திருந்தாலும் கூட, வாயுவின் நிலையை ஒப்பிடும் பொழுது இச்சார்பு குறிப்பிடத்தக்கதல்ல.

பொருண்மையின் அழிவின்மை விதி

நாம் சிறிது சர்க்கரையைத் தண்ணீரில் கரைத்தால், அக்கரைசலின் பொருண்மையானது, சர்க்கரை, தண்ணீர் ஆகியவற்றின் பொருண்மைகளின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாகும்.

இவ்வுதாரணம் உள்ளடங்கிய அண்ணிடலங்காத அறி வியல் சோதனைகள், ஒரு பொருளின் பொருண்மையானது ஒரு மாறாத குணதிசயம் ஆகும் என்பதை நிரூபிக்கின்றன. ஒரு பொருள் எந்த முறையில் நொறுக்கப்பட்டாலும் அல் லது கரைக்கப்பட்டாலும் அதன் பொருண்மை மாறாமலி ருக்கிறது.

இவ்வித, எந்த வேதியியல் உருமாற்றத்தின் போதும் கூட உண்மையாயிருக்கிறது. நிலக்கரி எரிவதாக வைத்துக் கொள்ளுங்கள். நிலக்கரி, அது எரிதலின் போது உபயோகப்

படுத்தப்பட்ட காற்றிலிருந்து எடுக்கப்பட்ட ஆக்ஸிஜன் ஆகியவற்றின் பொருண்மையின் கூட்டுதொகையானது, எரிதலினுல் கிடைக்கக்கூடிய உற்பத்திப பொருள்களின் பொருண்மைக்குச் சமமாக இருக்கும் என்பதை மிகக் கவனமாக நிறுவைகளின் மூலம் நாம் நிரூபிக்க முடியும்.

துல்லியமான நிறுவையின் நுணுக்கம் ஏற்கனவே வெகுவாக வளர்ச்சியடைந்திருந்த 19ம் நூற்ருண்டின் பிற்பகுதியில் தான் பொருண்மையின் அழிவின்மை விதியானது கடைசி முறையாகச் சரிபார்க்கப்பட்டது. எந்த வேதியியல் உருமாற்றத்தின் போதும் குறிப்பிடத்தக்க மிகச்சிறிய பகுதியாலுங்கூட பொருண்மை மாற்றம் அடைவதில்லை என்பது தெளிவானது.

பொருண்மை மாருத தன்மையுடையது என்னும் கருத்து மிகப்பழங்காலத்திலேயே நிலவியிருக்கிறது. இவ்விதியானது முதன் முறையாக 1756ம் ஆண்டில் சோதனைக்கு உட்படுத்தப்பட்டது. இச்சோதனை மைக்கேல் லோமோனேசோவ் என்பவரால் செய்யப்பட்டது. இவர், உலோகங்களை உருக்கும் பொழுது பொருண்மை பாதுகாக்கப்படுகிறது என்பதனை 1756ம் ஆண்டு நடத்திய சில சோதனைகளின் மூலம் நிரூபித்து, இவ்விதியின் அறிவியல் முக்கியத்துவத்தையும் தெளிவாக எடுத்துக் கூறினர்.

பொருண்மையானது, ஒரு பொருளின் மாருத தன்மைகளுள் மிக முக்கியமானதாகும் சொல்லப்போனல், ஒரு பொருளின் பெரும்பாலான தன்மைகளை மனிதனே கட்டுப்படுத்துகிருன். உதாரணமாக எளிதில் கையினல் வளைக்கக்கூடிய ஒரு தேனிரும்புக் கம்பியைத் தடிமைப்படுத்துவதன் மூலம், கடினமானதாகவும், நொருங்குந்தன்மையுடையதாகவும் மாற்ற முடியும். மிகை அதிர்வு ஒலி அலைகளின் (ultrasonic waves) உதவியால்

கலங்கலான கரைசலைத் தெளிந்த ஒளி ஊடுருவும் தன் மையுடையதாக மாற்ற முடியும். புறவினைகளின் மூலம் ஒரு பொருளின் இயந்திர நுட்பஞ்சார்ந்த, மின் ஆற்றலுக் குரிய வெப்பத்தொடர்புள்ள தன்மைகளை மாற்றியமைக்க முடியும். ஒவ்வொரு பொருளுடனும் வேறொரு பொருளைச் சேர்க்காமலும் அல்லது அப்பொருளிலிருந்து ஒரு துகளைக் கூட பிரித்து எடுக்காமலும் இருக்கும் பொழுது, வேறு எந்தப் புறவினைகளின் செயற்பாடுகள் மூலமாகவும் அப் பொருளின் பொருண்மையை மாற்ற இயலாது.*

வினையும் எதிர்வினையும்

ஒரு விசையின் ஒவ்வொரு வினையையும் ஒரு எதிர்வினை தொடர்கிறது என்பதை நாம் கவனிக்கத் தவறுகிறோம். வில் பொருத்தப்பட்ட மெத்தையையுடைய ஒரு படுக் கையின் மீது கனமான ஒரு பயணப்பேழையை வைத்தால், அப்படுக்கை தொய்வு கொடுக்கும். அப்படுக்கையின் மீது பயணப்பேழையின் எடை செயல்படுகிறது என்ற உண்மை அனைவருக்கும் தெரிந்ததே. இருப்பினும், படுக்கையும், பயணப்பேழையின் மீது ஒரு விசையைச் செலுத்துகிறது என்பதை நாம் சில நேரங்களில் மறந்து விடுகிறோம். உண் மையில் படுக்கையின் மீது வைக்கப்பட்டிருக்கிற பயணப் பேழை கீழே விழுவதில்லை. ஆகவே படுக்கையிலிருந்தும் பயணப்பேழையின் எடைக்குச் சமமான மேல் நோக்கிச் செயல்படுகிற ஒரு விசையானது, பயணப்பேழையின் மீது செயல்படுகிறது என்பதை நாம் புரிந்து கொள்ளலாம்.

ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிர்த்திசையில் செயல்படுகின்ற விசைகள் பொதுவாக ஆதாரத்தின் எதிர்விசைகள் என

---

* இத்துணிபுரை சில வரையறைகட்குட்படுத்தப்பட்டது என்பதனை வாசகர்கள் பின்னர் கண்டு கொள்ளலாம்.



மைக்கேல் லோமோனேசோவ் *(1711 — 1765):* இவர் ருசிய நாட்டைச் சேர்ந்த ஒரு தலைசிறந்த அறிவியல் அறிஞராவார். ருசியாவில் அறிவியலுக்கு வித்திட்டவர் இவரே. தலை சிறந்த கல்விமானும் கூட. 18 ஆம் நூற்றாண்டில் இயற்பியலில் பிரபலமாயிருந்த, பொருளின் மூலக்கூறு—இயக்கக் கொள்கைக்கு ஆதரவாக, மின் மற்றும் வெப்பப் பாய் பொருட்கள் பற்றிய கருத்துக்களுக்கு எதிராகத் துணிவுடன் போராடினர். வேதியியல் உருமாற்

அழைக்கப்படுகின்றன. ''எதிர்வினை'' என்னும் சொல்லின் பொருள் ''எதிரிடைச் செயல்'' என்பதே ஆகும். ஒரு மேசையின் மேல் வைக்கப்படுகிற ஒரு புத்தகத்தின் மீது செயல்படுகின்ற மேசையின் வினையும் படுக்கையின் மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கின்ற பயணப் பேழையின் மீது செயல்படுகின்ற படுக்கையின் வினையும், ஆதாரங்களின் எதிர்வினைகளாகும்.

நாம் சற்று முன்னர் கூறியது போலவே, ஒரு பொருளின் எடையை வில்தராசின் உதவியால் கணிக்க முடியும். வில்தராசில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கின்ற பொருளானது அவ்வில்லின் மீது செலுத்துகின்ற அழுத்தம் அல்லது அப்பொருள் தொங்கிக் கொண்டிருக்கும் வில்லை நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் விசையானது அப்பொருளின் எடைக்குச் சமமாயிருக்கின்றன. ஆயினும், வில்லின் அழுத்தம் அல்லது இழுவிசையின் மூலமாக ஆதாரத்தின் எதிர்வினையைக் கண்டு கொள்ளலாம் என்பது நாம் யாவரும் அறிந்ததே.

எனவே வில்தராசின் மூலம் ஒரு விசையின் அளவைக் கண்டுபிடிப்பதின் மூலமாக, ஒரு விசையின் அளவை மட்டு

றத்தின்போது பொருளின் பொருண்மை மாறுமலிக்கிறது என்பதை லோமோனேசோவ் தான் முதன் முதலில் பரிசோதனை ரீதியாக நிரூபித்தார். இவர், வளிமண்டல மின்சாரவியல், வானிலை இயல் ஆகிய துறைகளில் மிக விரிவான ஆராய்ச்சிகளை மேற்கொண்டார். குறிப்பிடத்தக்க ஒளியியல் சார்ந்த கருவிகள் பலவற்றை அமைத்து, அவற்றின் மூலம் வெள்ளிக் கிரகத்தின் வளிமண்டலத்தை இவர் கண்டுபிடித்தார். அறிவியலை ருசிய மொழியில் எழுதுவதற்கு வழிகாட்டியவரும் இவரே. அடிப்படை வேதியியல் மற்றும் இயற்பியல் கலைச்சொற்களை லத்தீன் மொழியிலிருந்து மிகச் சிறந்த முறையில் மொழி பெயர்ப்பு செய்து வெற்றி கண்டவர் இவர்.

மின்றி, எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல்படுகின்ற இரு விசைகளையும் நாம் அளந்து தெரிந்து கொள்கிறோம். பளு வானது தராசுத் தட்டின் மீது செலுத்துகின்ற அழுத்தத் தையும், ஆதாரத்தின் எதிரியக்கமாகிய தராசுத்தட்டனது பளு மீது செலுத்துகின்ற வினையையும், வில்தராசுகள் ஒரே நேரத்தில் அளக்கின்றன. ஒரு வில்லை ஒரு சுவரினுடன் கட்டி வைத்து, அதை நாம் கையால் இழுப்பதன் மூலம், நமது கையானது எவ்வளவு விசையுடன் வில்லை இழுக்கிறது என்ப தையும், வில்லானது நம் கையை எவ்வளவு விசையுடன் இழுக்கிறது என்பதையும் ஒரே நேரத்தில் அளந்து தெரிந்து கொள்ளலாம்.

ஆகவே விசைகள் கீழ்வரும் குறிப்பிடத்தக்கத் தன் மையைக் கொண்டிருக்கின்றன: அவை ஒரே அளவுள்ள எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல்படுகிற இரண்டு தொகுதிக ளாகவே காணப்படுகின்றன. பொதுவாக இவ்விரு விசைக ளும் வினை, எதிர்வினை என அழைக்கப்படுகின்றன.

''தனித்த'' விசைகள் இயற்கையில் காணப்படுவதில்லை. பொருட்களுக்கிடையேயான பரஸ்பர எதிர்வினைகளே உண் மையில் காணப்படுகின்றன. மேலும் ஒரு வினை அதன் எதிர்வினை ஆகியவற்றின் அளவுகள் பெரும்பாலும் சம மாயிருக்கின்றன. ஒரு பொருளானது அதன் ஆடியின் பிம் துடன் சார்பு கொண்டிருப்பது போலவே வினையும் எதிர்வினையும் ஒன்றோடு ஒன்று சார்புற்றிருக்கின்றன.

நாம் வினை, எதிர்வினை ஆகியவற்றின் விசைகளைச் சம நிலைப்படுத்தும் விசைகளெனத் தவறாக எடுத்துக் கொள்ள லாகாது.

ஒரு பொருளின் மீது செலுத்தப்படும் பொழுதுதான் இரு விசைகள் சரியீடு செய்யப்படுகின்றன என நாம் கூறு கிறோம். உதாரணமாக, மேசை மீது வைக்கப்படுகிற புத் தகத்தின் எடை (பூமி புத்தகத்தின் மீது செலுத்துகிற

வினை) யானது மேசையின் எதிர்வினையால் (மேசை புத்த கத்தின் மீது செலுத்துகிற வினை) சரியீடு செய்யப்படுகிறது.

இரு பின்னிய செயல்விளைவுகளை (interactions) சரியீடு செய்யும் பொழுது எழுகிற விசைகளுக்கு மாறாக, வினை, எதிர்வினை, ஆகியவற்றின் விசைகள் ஒரே செயல்வி னையையே குறிக்கின்றன. உதாரணமாக மேற்கூறிய புத் தகம் மேலே வைக்கப்பெற்ற ஒரு மேசையை எடுத்துக் கொள்ளலாம். ''மேசை—புத்தகம்'' என்பது வினையாகும் ''புத்தகம்—மேசை'' என்பது எதிர்வினையாக அமைகிறது. உண்மையில், இவ்விரு விசைகளும் வெவ்வேறு பொருட் களின் மீது செலுத்தப்படுகின்றன.

கீழ்வரும் வழிவழி மரபான தவறான பொருள் கோளை அகற்றி விளக்கிக் கூற முயற்சி செய்வோம். ''குதிரை வண் டியை இழுத்துக் கொண்டிருக்கிறது. ஆனால் வண்டியோ அதேநேரத்தில் குதிரையை இழுத்துக் கொண்டிருக்கிறது. பின்னர் ஏன் அவைகள் நகர்கின்றன.'' என்ற கேள்வி நமக்கு எழலாம். சாலை வழுக்கும் தன்மையுடையதாக இருந் தால் குதிரை வண்டியை நகர்த்தாது என்பதை நாம் முத லில் நினைவு கூற வேண்டும். ஆகவே இவ்வியக்கத்தைப் புரிந்து கொள்ள வேண்டுமாயின், ஒரு பிணைப்புச் செயல் வினையை மட்டும் நாம் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளாமல், ''வண்டி—குதிரை'', ''குதிரை — சாலை'' ஆகிய இரு பிணைப்புச் செயல்வினைகளையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டியது அவசியமாகிறது. குதிரைக்கும் சாலைக்கும் இடையேயான பிணைப்புச் செயல்வினை விசையானது (சாலை யிலிருக்கும் குதிரை தன்னைத் தள்ளும் விசை) விஞ்சும் போதுதான் இயக்கம் ஆரம்பமாகிறது. ''வண்டி குதிரையை இழுக்கிறது,'' ''குதிரை வண்டியை இழுக்கிறது'' ஆகிய விசைகளைப் பொறுத்த மட்டில், அவை ஒரே பிணைப்புச் செயல்வினையையே குறிக்கின்றன. ஆகவே ஓய்வு நிலையிலா

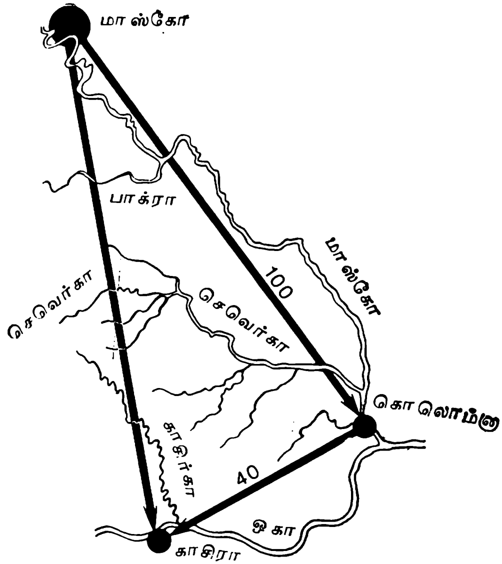
ளுலும் அல்லது இயக்கத்தின் எந்த நேரத்திலாயினும் இவ்விசைகள் அளவில் சர்வசமமானவைகளாய் இருக்கின்றன.

(velocities) திசைவேகங்களை எவ்வாறு கூட்டுவது?

முன்னதாக ஒரு மணி நேரமும் பின்னர் மற்றுமொரு அரைமணி நேரமும் நான் காத்திருந்தேன். ஆனல் மொத்தத்தில் நான் ஒன்றரை மணி நேரத்தைக் கடத்தியிருக்கிறேன் என்பது நாமறிந்ததே! முதலாவதாக ஒரு ரூபிளும் பின்னர் இரு ரூபிள்களும் எனக்குக் கிடைக்கப் பெற்ருல் மொத்தத்தில் நான் மூன்று ரூபிள்களைப் பெற்றிருப்பேன் என்பதும் புரிந்து கொள்வதற்கு எளியதே! நான் முதலில் 200 கிராம் திராட்சையை வாங்கி, பின்னர் மற்றுமொரு 400 கிராம் திராட்சையையும் வாங்கினல், என்னிடம் மொத்தம் 600 கிராம் திராட்சை இருக்கும் என்பது தெளிவு. நேரம், பொருண்மை, இன்னும் இதையொத்த ஏனைய அளவுகளும் அட்சரக் கணித முறைப்படி (algebraically) கூட்டப்படுகின்றன என்று நாம் கூறுகின்ருேம்.

இருப்பினும், எல்லா அளவுகளையும் இவ்வளவு எளிதாகக் கூட்டவோ, கழிக்கவோ முடிவதில்லை. உதாரணமாக, மாஸ்கோவிலிருந்து கொலொம்ன 100 கி. மீ தூரத்தில் இருப்பதாகவும், காசிரா கொலோம்னவிலிருந்து 40 கி. மீ தூரத்தில் அமைந்திருப்பதாகவும் வைத்துக் கொள்வோம். இதிலிருந்தும் காசிரா, மாஸ்கோவிலிருந்து 140 கி மீ. தூரத்தில் அமையப்பெற்றிருக்கிறது என்று நாம் கூறமுடியாது. அதாவது தூரங்கள் அட்சரக் கணித முறைப்படி கூட்டப்படுவதில்லை.

வேறு எந்த முறையிலெல்லாம் அளவுகளைக் கூட்டமுடியும் என்ற எண்ணம் நம் மனதில் எழலாம். இதற்குத்



படம் 4

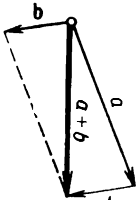
தேவையான விதியை நமது உதாரணத்தை அடிப்படையாக கொண்டு நாம் மிக எளிதாகக் காணலாம் நமக்குத் தேவையான மூன்று இடங்களின் சார்பு அமைவிடங்களைக் குறித்துக் காட்டும் மூன்று புள்ளிகளை ஒரு காகிதத்தில் வரையவும் (படம் 4). இம்மூன்று புள்ளிகளையும் உச்சிகளாகக் கொண்ட ஒரு முக்கோணத்தை நாம் அமைக்கலாம். இதன் இரண்டு பக்கங்கள் தெரிந்திருந்தால், மூன்றுவது பக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்க இயலும். இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமாயின் இவ்விரண்டு பக்கங்களுக்கு இடையே அமைந்துள்ள கோணத்தை நாம் தெரிந்திருக்க வேண்டியது அவசியமாகும்.

தெரிந்து கொள்ள வேண்டிய தூரத்தை நாம் கீழ்வரும் முறையில் கண்டு கொள்ளலாம்: முதல் கோட்டுத்துண்டைக் குறித்துக் கொள்ளவும் பின்னர், இக்கோட்டுத்துண்டின் முடிவுப் புள்ளியிலிருந்து ஆரம்பித்துக் கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் குறிப்பிட்ட திசையில் இரண்டாவது கோட்டுத் துண்டை வரையவும். இப்பொழுது முதல் கோட்டுத்துண்டின் ஆரம்பப் புள்ளியையும் இரண்டாவது கோட்டுத்துண்டின் முடிவுப் புள்ளியையும் ஒரு நேர் கோட்டால் சேர்க்கவும். இறுதியாக வரையப்பட்ட கோட்டுத்துண்டே நமக்குத் தேவையான பாதையைக் குறிக்கிறது.

மேலே விவரிக்கப்பட்ட கூட்டல் வகையே வடிவியல் சார்ந்த (geometrical) கூட்டல் என அழைக்கப்படுகிறது. இம்முறையில் கூட்டப் பெறும் அளவுகள் யாவும் திசையுளிகள் (vectors) என அழைக்கப்படுகின்றன.

ஒரு கோட்டுத்துண்டின் ஆரம்பப் புள்ளியிலிருந்து, அதன் முடிவுப் புள்ளியை வித்தியாசப்படுத்திக் காண்பிப்பதற்காக, இக்கோட்டுத்துண்டில் ஒரு அம்புக் குறியைச் சேர்க்கிறோம் திசையுளி என அழைக்கப் பெறும் இத்தகைய கோட்டுத்துண்டு நீளத்தையும் திசையையும் குறிக்கின்றன.

பலதரப்பட்ட திசையுளிகளைக் கூட்டுவதற்கும் இவ்விதி பயன்படுகிறது முதல் புள்ளியிலிருந்து இரண்டாவது புள்ளிக்கும் இரண்டாவது புள்ளியிலிருந்து மூன்றாவது புள்ளிக்கும் என இப்படியே கடந்து செல்லும் பொழுது நாம் கடக்கும் பாதையை ஒரு விடுபட்ட கோட்டின் மூலம் குறிக்கிறோம். ஆனால் ஆரம்பப்புள்ளியிலிருந்து நேரடியாக முடிவுப் புள்ளிக்குச் செல்லுதல் சாத்தியமானதே. பலக்கோணத்தை மூடுகின்ற இக்கோட்டுத் துண்டுதான் திசையுளிகளின் கூட்டுத்தொகையாகும்.



படம் 5

ஒரு திசையுளியிலிருந்து மற்றொன்றை எவ்வாறு கழிப்பது என்பதையையும் ஒரு திசையுளி முக்கோணத்தின் மூலம் நாம் விளக்கிக் காட்டலாம். இதற்காக நாம் இரு திசையுளிகளையும் ஒரே புள்ளியிலிருது தொடங்கி வரைகிறோம். இரண்டாவது திசையுளின் முடிவுப் புள்ளியிலிருந்து முதல் திசையுளியின் முடிவுப் புள்ளிக்கு வரையப்படும் திசையுளியே இரு திசையுளிகளின் வித்தியாசமாகும்

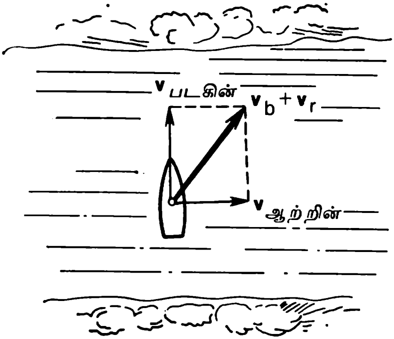
முக்கோண விதிக்குப் பதிலாக அதற்கு நிகரொத்த (equivalent) இணைகர விதியையும் (படம் 5) நாம் உபயோகப்படுத்தலாம் இவ்விதியின்படி, கூட்டப்பட வேண்டிய இரு திசையுளிகளையும் கொண்டு நாம் ஒரு இணைகரத்தை அமைத்து இவ்விரு திசையுளிகளின் வெட்டுப் புள்ளியிலிருந்து ஒரு மூலைவிட்டத்தை வரைய வேண்டும். இணைகரத்தின் இம்மூலைவிட்டமானது சரியாக முக்கோணத்தை மூடுகின்ற கோட்டுத்துண்டாக அமைந்திருக்கிறது என்பது படத்திலிருந்தும் தெளிவாகிறது. ஆகவே இரு விதிகளும் சமமாகப் பொருந்துபவையாகும்.

இடப்பெயர்ச்சிகளைக் குறிப்பதற்கு மட்டும் திசையுளிகள் உபயோகப்படுகின்றன என்று எண்ண வேண்டாம். இயற்பியலில் பல திசையுளி அளவுகளை அடிக்கடி காணலாம்.

உதாரணமாக, இயக்கத்தின் திசைவேகத்தைக் கவனிப்

போம். ஒரு அலகு நேரத்தில் நிகழ்கிற இடப்பெயர்ச்சியே **திசைவேகம்** என அழைக்கப்படுகிறது. இடப்பெயர்ச்சியானது ஒரு திசையுளியாய் இருப்பதனுல், திசைவேகமும் ஒரு திசையுளியாய் இருக்கிறது. மேலும் இரண்டுமே ஒரே திசையில் அமைந்திருக்கின்றன. ஒரு வளை பாதையின் மேல் ஏற்படுகிற இயக்கத்தின்போது இடப்பெயர்ச்சியின் திசையானது தொடர்ச்சியாக மாறிக் கொண்டேயிருக்கிறது. இவ்வாறிருக்கையில் திசைவேகத்தின் திசையை நாம் எவ்வாறு காணமுடியும்? ஒரு வளைகோட்டின் சிறு பகுதியானது, அச்சிறு பகுதியில் அமைக்கப்பட்ட ஒரு தொடுகோட்டின் (tangent) திசையைப் பெற்றிருக்கிறது. எனவே குறிப்பிடப்பட்ட ஒவ்வொரு நேரத்திலும் ஒரு பொருளின் இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம் ஆகியவை இயக்கப்பாதையின் தொடுகோட்டின் திசையில் அமைந்திருக்கின்றன.

பெரும்பாலான நேரங்களில், திசையுளிகளுக்கான விதியின்படி, நாம் திசைவேகங்களைக் கூட்டவும் கழிக்கவும் வேண்டியது அவசியமாகிறது. ஒரே பொருள் உடனிகழ்வாக இரு இயக்கங்களில் பங்கேற்கும் பொழுது திசைவேகங்களைக் கூட்ட வேண்டிய அவசியம் எழுகிறது. இத்தகைய சூழ்நிலை மிகப் பொதுவானதாகும். உதாரணமாக ஒரு மனிதன் புகை வண்டியினுள் நடக்கும் பொழுது, புகை வண்டியுடன் சேர்ந்தும் நகர்கிருன். புகை வண்டியின் பலகணிச் சட்டத்திலிருந்தும் வடிகிற ஒரு நீர்த்துளியானது அதன் எடையினுல் கீழ்நோக்கி நகருவதுடன் புகை வண்டியின் போக்கிலும் பயணம் செய்கிறது. பூமி சூரியனைச் சுற்றுகிறது. மற்ற விண்மீன்களைப் பொறுத்தமட்டில் சூரியனுடன் சேர்ந்து பூமியும் நகர்கிறது. மேற்கூறிய மற்றும் இதுபோன்ற ஏனைய சூழ்நிலைகளில் திசையுளிகளைக் கூட்டுவதற்கான விதியின்படி திசைவேகங்கள் கூட்டப்படுகின்றன.



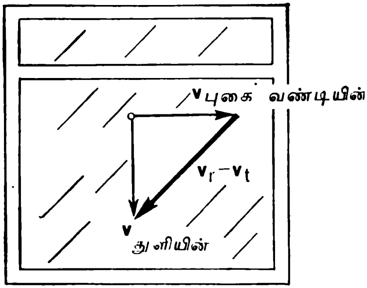
படம் 6

இரு இயக்கங்கள் ஒரே நேர்கோட்டின் மீதும், ஒரே திசையிலும் நடைபெற்றால் திசையுளிக் கூட்டலானது, சாதாரணக் கூட்டலாகவும், எதிரெதிர்த் திசைகளில் அமைந்திருந்தால் அது சாதாரணக் கழித்தலாகவும் எளிதாக்கப்படுகின்றன.

ஆனால் இயக்கங்கள் ஒரு கோணத்தை உள்ளடக்கிய இரு திசைகளில் அமைந்திருந்ததானால், நாம் வடிவியல் சார்ந்த கூட்டல் முறையை உபயோகிக்கிறோம்.

வேகமாக ஓடுகின்ற ஆற்றைக் கடக்கும் பொழுது, ஒரு படகை நீரோட்டத்துக்குச் செங்குத்தாகச் செலுத்தினால், நாம் ஆற்றால் இழுத்துச் செல்லப்படுவோம். இதில் படகானது ஆற்றின் ஓட்டத்துக்குச் செங்குத்தாகவும், ஆற்றின் போக்கிலும் ஆக இரு இயக்கங்களில் பங்கேற்கிறது. படகின் மொத்தத் திசைவேகம் படம் 6ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

மற்றுமொரு உதாரணத்தையும் பார்ப்போம். ஒரு இரயில் பெட்டியின் பலகணியிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது, மழைத் துளிகளின் நீரோட்டம் எவ்வாறு காட்சி அளிக்கும் என்பதை எண்ணிப் பார்க்கவும். இரயில் பெட்டிப் பலக



படம் 7

ணிகளிலிருந்து நாம் கண்டிப்பாக மழையைக் கவனித்துப் பார்க்கக்கூடும். காற்றேயில்லாத காலநிலையிலும்கூட தூரத்திலிருந்தும் இரயிலை நோக்கி வீசுகிற காற்று விலக்குவது போன்று, மழைத் துளிகள் சாய்வாகவே விழுகின்றன (படம் 7).

காற்றேயில்லாத காலநிலையில் ஒரு மழைத் துளியானது செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கி விழுகிறது. ஆனால் அத்துளியானது பலகணியின் அருகில் விழும் நேரத்தில், வீழ்ச்சியின் செங்குத்துக் கோட்டைப் பின்னே விட்டுவிட்டு இரயில் பெட்டியானது நல்ல தூரத்தைக் கடக்கிறது. ஆகவேதான் மழை சாய்வாகப் பெய்வதாகத் தோன்றுகிறது.

இரயில் வண்டியின் திசைவேகம் v_t எனவும், மழைத் துளி வீழ்ச்சியின் திசைவேகம் v_r எனவும் இருந்தால், திசையுளிகளின் விதியின்படி v_r லிருந்து v_t ஐ கழிப்பதன் மூலம், இரயில் பிரயாணிக்குச் சார்பாக, மழைத் துளி வீழ்ச்சியின் திசைவேகத்தை நாம் பெற முடியும்.*

* இங்கும் இதற்குப் பின்னரும், அளவு மட்டுமின்றித் திசையும் முக்கியமானது என்னும் தனித்தன்மையைக் கொண்டிருக்கிற திசையுளிகளைக் குறிப்பதற்கு நாம் தடிதடித்த எழுத்துக்களை உபயோகிப்போம் என்பதைக் கவனத்தில் கொள்ளவும்.

படம் 7ல் திசைவேக முக்கோணம் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. சாய்ந்திருக்கிற திசையுளியின் திசையானது மழையின் திசையைக் குறிக்கிறது. நாம் ஏன்மழை சாய்வாகப் பெய்வதாகப் பார்க்கிறோம் என்பது இப்பொழுது தெளிவாகிறது. சாய்ந்திருக்கும் அம்பின் நீளமானது, தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட அளவு முறையில், இத் திசைவேகத்தின் அளவைத் தருகிறது. இரயில் வண்டி அதிக வேகத்துடன் சென்று கொண்டிருக்கும் பொழுது, மழைத்துளி மிக மெதுவாக விழுந்தால், மழைத்துளிகளின் நீரோட்டம் அதிகம் சாய்ந்திருப்பதாகத் தோன்றுகிறது.

விசை ஒரு திசையுளியாகும்

திசைவேகத்தைப் போலவே விசையும் ஒரு திசையுளியளவாகும். ஏனெனில் இது எப்பொழுதும் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலேயே செயல்படுகிறது ஆகவே நாம் சற்று முன்னர் விவரித்த விதிகளின்படியே விசைகளும் கூட்டப்படுதல் வேண்டும்.

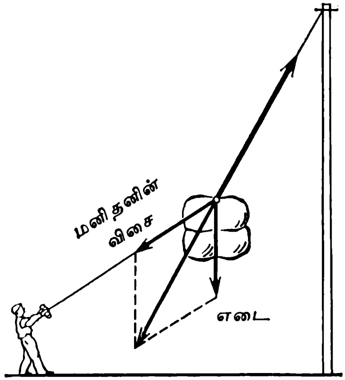
விசைகளின் திசையுளிக் கூட்டல் முறையை விவரிக்கும் உதாரணங்கள் பலவற்றை நாம் அன்றாட வாழ்வில் அடிக்கடி பார்க்கிறோம். ஒரு கட்டு தொங்கிக் கொண்டிருக்கும் தடித்த கயிறு ஒன்று படம் 8ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு மென் கயிற்றின் மூலம் ஒரு மனிதன் அக்கட்டை ஒரு பக்கமாக இழுத்துக் கொண்டிருக்கிறான். கட்டின் எடையினால் ஆன விசை மனிதனின் விசை ஆகிய இரு விசைகளின் விளையாற்றல்களினால் தடித்த கயிறு நீட்டப்படுகிறது.

தடித்த கயிறு எத்திசையை நோக்கியிருக்கிறது என்பதைத் தீர்மானிப்பதற்கும் அதன் இழுவிசையைக் கணிப்பதற்கும் விசைகளின் திசையுளிக் கூட்டல் விதி நமக்கு உதவியாக இருக்கிறது. கட்டு ஓய்வு நிலையில் இருப்பதால்,

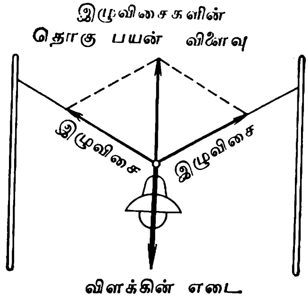
அதன் மேல் செயல்படுகிற விசைகளின் கூட்டுத்தொகையானது பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருத்தல் அவசியமாகும். தடித்த கயிற்றின் இழுவிசையானது, கட்டின் எடையின் விசை, மென் கயிற்றின் உதவியால் ஒரு பக்கமாக இழுத்துக் கொண்டிருக்கிற விசை ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருத்தல் அவசியம் எனவும் நாம் கூறலாம். இவ்விசைகளின் கூட்டுத்தொகையானது ஒரு இணைகரத்தின் மூலை விட்டமாக அமைகிறது. இது எதிர்மாறான தீர்வாய்வுகள் (problems) அடிக்கடி எழுகின்றன. ஒரு விளக்கானது இரு கயிறுகளினால் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. கயிறுகளில் செயல்படுகிற இழுவிசைகளைக் கணிக்க வேண்டுமாயின் விளக்கின் எடையை இவ்விரு கயிறுகளின் திசைகளில் செயல்படும் தனிக்கூறுகளாக நாம் பிரிக்க வேண்டும்.

தொகுபயன் விளைவுத் திசையுளியின் முடிவுப் புள்ளியிலிருந்தும் (படம் 9) இரு கயிறுகளுக்கும் இணையான கோடுகள் ஒன்றையொன்று வெட்டும் வரை நாம் வரைகிறோம். விசைகளின் கயிற்றின் திசையிலேயே அமைந்திருக்கிறது. (இல்லாவிட்டால் இவ்விசையைத் தடித்த கயிற்றின் இழுவிசையானது ஈடு செய்ய முடியாது) இந்த அம்புக்குறியின் நீளம் தடித்த கயிற்றின் இழுவிசையைக் குறிப்பதாகும். கட்டின் மீது செயல்படுகிற இரு விசைகளையும் இத்தகைய தனித்த ஒரு விசையால் மாற்றீடு செய்யலாம். ஆகவே விசைகளின் திசையுளிக் கூட்டுத்தொகை சில நேரங்களில் தொகுபயன் விளைவு (resultant) என அழைக்கப்படுகிறது.

விசைகளின் கூட்டலுக்கு இணைகரம் அழைக்கப்படுகிறது. இணைகரத்தின் பக்க நீளங்களை அளப்பதிலிருந்தும் கயிற்றில் செயல்படுகிற இழுவிசையின் எண்மதிப்பை நாம் கண்டு கொள்ள முடிகிறது (எடை குறிக்கப்பட்டிருக்கும் அதே அளவுத் திட்டத்தில்).



படம் 8

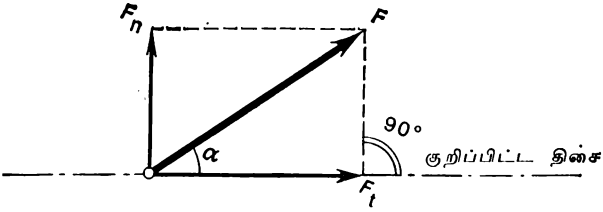


படம் 9

இத்தகைய ஒரு அமைப்பே, விசையைத் தனிக்கூறுகளாக்குதல் என அழைக்கப்படுகிறது. ஒவ்வொரு எண்ணும், இரண்டு அல்லது பல எண்களின் கூட்டுத் தொகையாக, கணிப்பு வரம்பு கடந்த பல வழிகளில் குறிக்கப்படலாம். ஒரு விசைத் திசையுளியும் இத்தன்மையைப் பெற்றிருத்தல் உண்மையாகும். எந்த ஒரு விசையையும், இரு விசைகளாகப் பிரிக்க முடியும் ஒரு பக்கத்தைத் தன்னிச்சையாகக் கொண்டு வரையப்பட்ட ஒரு இணைகரத்தின் இரு பக்கங்களால் இவ்விசையின் இரு பகுதிகளும் குறிக்கப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு திசையுளிக்கேற்ப தன்னிச்சையான ஒருபல கோணத்தையும் அமைக்க முடியும் என்பது தெளிவு.

ஒரு விசையை, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான இரு விசைகளாகப் பிரிப்பது மிகவும் உதவியாயிருக்கும். இவற்றில் ஒன்றை நமக்குத் தேவையான திசையிலும், மற்றொன்றை இதற்குச் செங்குத்தான திசையிலும் அமைத்துக் கொள்ளலாம். இவை முறையே விசையின் தொடுக்கோட்டு மற்றும்

படம் 10



செங்குத்துக் கோட்டு ஆக்கக்கூறுகள் (components) என அழைக்கப்படுகின்றன.

ஒரு விசையானது ஒரு செவ்வகத்தின் பக்கங்களின் மூலம் ஆக்கக் கூறுகளாகப் பிரிக்கப்படுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட திசையை நோக்கியிருக்கும் இவ்விசையின் ஆக்கக்கூறு இத்திசையின் மீது இவ்விசையின் எறிதல் (projection) என அழைக்கப்படுகிறது.

படம் 10 லிருந்தும் $F^2 = F_t^2 + F_n^2$ என்பதைத் தெளிவாகத் தெரிய முடிகிறது. F_t, F_n முறையே நாம் தேர்ந்தெடுத்த ஒரு திசையிலும், அதற்குச் செங்குத்தான திசையிலும் அவ்விசையின் எறிவுகளாகும்.

திரிகோணமிதி சிறிது அறிந்தவர்கள் $F_t = F \cos \alpha$ என்பதை எளிதாகப் புரிந்து கொள்வர். இங்கு α என்பது விசைத் திசையுளிக்கும், அவ்விசையின் எறிதல் அமைக்கப்பட்ட திசைக்கும் இடையே அமைந்துள்ள கோணமாகும்

விசைகளைக் கூறுகளாகப் பிரிப்பதை அடிப்படையாகக் கொண்ட ஒரு பாய்ப்படகின் இயக்கமானது நமது ஆர்வத்தை வெகுவாகக் கவர்கிறது. காற்றை எதிர்த்து இது எவ்வாறு பிரயாணம் செய்கிறது என்ற கேள்வி எழலாம். ஒரு பாய்ப் படகு காற்றுக்கு எதிராகப் பயணம் செய்வதை யாராவது கவனித்திருந்தால் அது திசை மாறி மாறி நகர்வதைக் காணலாம். இத்தகைய தொடு இயக்கத்தை வெட்டி வெட்

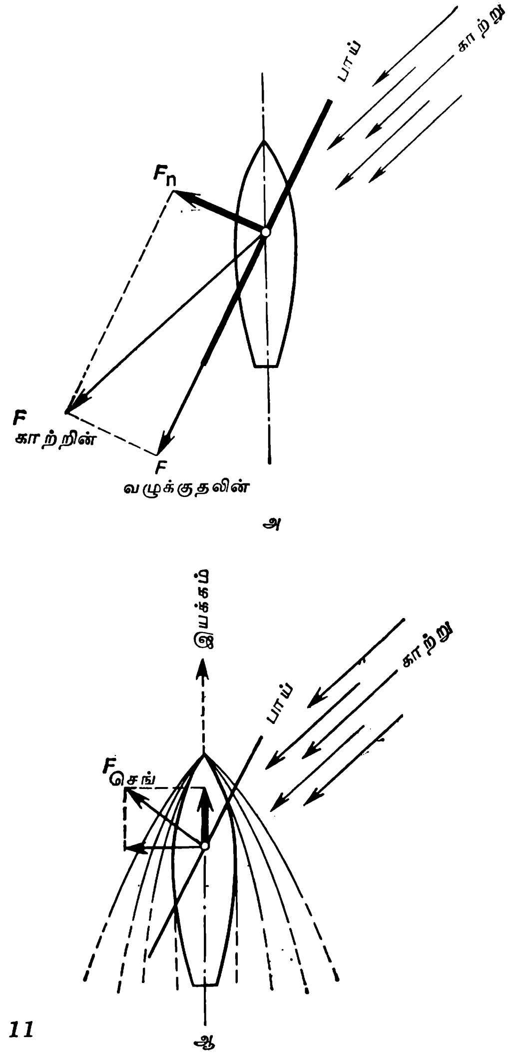
டிச் செல்லல் என பாய்ப்படகு ஓட்டுபவர்கள் அழைக்கி ன்றனர்கள்.

உண்மையில், காற்றுக்கு நேரெதிராகப் படகை செலுத் துதல் முடியாத ஒன்றாகும். ஆனால் ஒரு கோணத்தில் காற் றுக்கு எதிராகப் படகைச் செலுத்துவது ஏன் சாத்தியமா கிறது.

இரு சூழ்நிலைகளின் கீழ், காற்றைச் சமாளிப்பது சாத்திய மாகிறது. முதலாவதாக, பாயின் தளத்துக்குச் செங்குத் தாகக் காற்றானது பாயைத் தள்ளுகிறது. படம் 11(அ)— வைப் பார்க்கவும். காற்றின் விசை இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. இவற்றில் ஒன்று பாய் மரத்தளத்தோடு வழுக்கிச் செல்கிறது. செங்குத்துப் பகுதியாகிய மற்றொன்று பாயின் மீது அழுத்தத்தை ஏற்படுத்துகிறது. இரண்டாவ தாக, காற்றின் விசை தள்ளும் திசையில் படகு செல்வதில்லை ஆனால் காற்றின் விசை நோக்கியிருக்கும் திசையிலேயே படகு செல்கிறது.

படகு அதன் அடிக்கட்டைக்குச் செங்குத்தான திசை யில் நகரும் பொழுது தண்ணீர் அப்படகுக்கு மிகபலமான தடையைக் கொடுக்கிறது என்பதால் இது விளக்கப்படுகி றது. எனவே ஒரு படகு முன்னோக்கி நகர வேண்டுமாயின் பாயை அழுத்துகிற விசையானது அடிக்கட்டையின் திசையி லேயே அமைந்திருக்கும் முன்னோக்கிய ஒரு பகுதியைக் கொண்டிருத்தல் அவசியமாகும்.

காற்றுக்கு எதிராகப் பிரயாணம் செய்கிற படகை விவரிக்கும் படம் 11(ஆ) வை இப்பொழுது நாம் தெளி வாகப் புரிந்து கொள்ள முடிகிறது. படகு செல்லும் பாதை யின் திசைக்கும், காற்றின் திசைக்கும் இடையே அமைந் துள்ள கோணத்தை பாய் மரத்தின் தளம் இரு சமக்கூறு களாகப் பிரிக்கும் வகையில் அப்பாய் மரம் அமைக்கப்பட்டி ருக்கிறது.



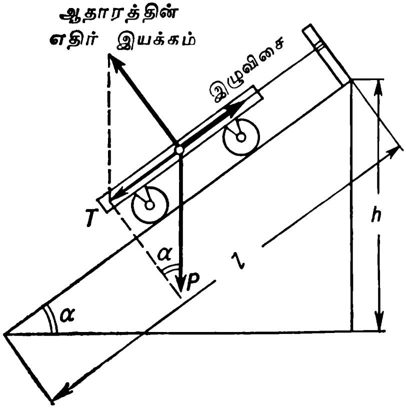
படம் 11

படகை முன்னேக்கிச் செலுத்துகிற வ்சையைக் கண்டு பிடிக்க வேண்டுமாயின் காற்றின் விசையை முதலாவதாக பாய் மரத்தின் தளத்தில் அமைந்திருக்கும் ஒரு திசையிலும் அதற்குச் செங்குத்தான திசையிலும் ஆக இரு கூறுகளாக நாம் பிரிக்க வேண்டும். இவற்றுள் செங்குத்துத் திசையில் அமைந்திருக்கும் பகுதியே முக்கியமானதாகும். இதன் பின்னர், செங்குத்துப் பகுதியை நாம் படகின் அடிக்கட்டையின் திசையிலும் அதற்குச் செங்குத்தான திசையிலும் அமைந்திருக்கும்படியான இரு கூறுகளாகப் பிரிக்க வேண்டும். இத்தொடுகோட்டு ஆக்கக்கூறுதான் காற்றின் திசையிலிருந்தும் ஒரு கோணத்தில் படகைச் செலுத்துகிறது.

சாய்தளம்

படிப்படியான ஒரு ஏற்றத்தைக் காட்டிலும் ஒரு செங்குத்தான ஏற்றத்தில் ஏறுவது மிகக் கடினமானது என்பது நாம் யாவரும் அறிந்ததே. ஒரு பொருளைச் செங்குத்தாகத் தூக்குவதைக் காட்டிலும் ஒரு சாய்தளத்தின் மீது உருட்டி மேலே கொண்டு செல்வது எளிதாயிருக்கும். இவ்வேறுபாட்டுக்கான காரணம் என்ன? இது எவ்வளவு எளிதானது? என்ற கேள்விகள் நம் மனதில் எழுவது இயல்பே! இந்நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றிப் புரிந்து கொள்வதற்கு விசைகளின் கூட்டல் விதி நமக்கு உதவுகிறது.

சக்கரங்களின் மேல் நிற்கும் ஒரு சரக்கு இரயில் பெட்டியானது ஒரு கயிற்றின் இழுவிசையினல் ஒரு சாய்தளத்தின் மீது நிறுத்தப்பட்டிருப்பதை படம் 12 விவரிக்கிறது. இக்கயிற்றின் இழுப்பைத் தவிர, அச்சரக்குப் பெட்டியின் எடை, ஆதாரத்தின் எதிர் இயக்க விசை ஆகிய மேலும் இரு விசைகளும் அச்சரக்குப் பெட்டியின் மீது செயல்படுகின்றன. ஆதாரத்தின் மேல் தளம் கிடைமட்



படம் 12

டமாக இருந்தாலும் அல்லது சாய்வாக இருந்தாலும், ஆதாரத்தின் எதிரியக்க விசையானது ஆதாரத்தின் மேற் பரப்புக்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படுகிறது.

ஏற்கனவே கூறியது போல, ஒரு பொருள் ஆதாரம் ஒன்றின் மீது வைக்கப்பட்டு எடை பார்க்கப்படுமேயாயின், ஆதாரம் அழுத்தத்தைச் சமப்படுத்துகிறது அல்லது எதிரி யக்க விசையை உண்டாக்குகிறது என நாம் கூறலாம்.

ஒரு சரக்குப் பெட்டியை செங்குத்தாகத் தூக்குவதைக் காட்டிலும் ஒரு சாய்தளத்தின் மீது நகருமாறு இழுப்பது எந்த அளவுக்குச் சுலபமாக இருக்கும் என்பதை நாம் அறிய விரும்புவது இயல்பே!

விசைகளை, பொருள் இயங்குகிற மேற்பரப்பின் மீது ஒரு கூறு செயல்படுமாறும், மேற்பரப்பிற்குச் செங்குத்தான திசையில் மற்றொரு கூறு செயல்படுமாறும் ஆக இரு கூறு களாக நாம் பிரிக்கிறோம். சாய்தளத்தின் மேல் ஒருபொருள் ஒய்வு நிலையில் இருக்க வேண்டுமானால் கயிற்றின் இழுவிசை யானது தொடுவியல் பகுதியை மட்டுமே சரியீடு செய்ய

வேண்டியிருக்கிறது. இரண்டாவது கூறுனது ஆதாரத்தின் எதிர் வினையால் சரியீடு செய்யப்படுகிறது.

வடிவியல் அமைப்பின் மூலமாக அல்லது திரிகோணமிதியின் உதவியால் நமக்குத் தேவையான T எனக் குறிக்கப் பெறும் கயிற்றின் இழுவிசையை நாம் கணக்கிட முடியும். வடிவியல் அமைப்பின்படி, P எனக் குறிக்கப் பெறும் எடைத் திசையுளியின் முடிவுப் புள்ளியிலிருந்து சாய்தளத்தை நோக்கி செங்குத்துக்கோடு ஒன்று வரைய வேண்டும்.

வடிவொத்த இரு முக்கோணங்களை நாம் படத்தில் காண்கிறோம். l எனக் குறிக்கப் பெறும் சாய்தளத்தின் நீளம், h எனக் குறிக்கப்பெறும் அதன் உயரம் ஆகியவற்றின் விகிதம் விசை முக்கோணத்தில் மேற்கூறிய பக்கங்களுக்கு ஒத்த பக்கங்களின் விகிதத்திற்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவ்வாறாக $\frac{T}{P}=\frac{h}{l}$.

தளத்தின் சாய்வு குறைவாக இருந்தால் (அதாவது, $\frac{h}{l}$ன் மதிப்புச் சிறிதாக இருந்தால்) பொருளை மேல் நோக்கி இழுப்பது மிக சுலபமாக இருக்கும்.

திரிகோணமிதியை நன்கு அறிந்தவர்கள் மேற்கூறிய முடிவைப் புரிந்து கொள்வதற்காகக் கீழ்வரும் விளக்கத்தைத் தருகிறோம். எடையின் செங்குத்துக் கூறு, எடைத் திசையுளி ஆகியவற்றிற்கு இடையோன கோணமானது, சாய்தளத்தின் சாய் கோணமாகிய α க்குச் சமமாயிருக்கிறது (இவை பரஸ்பர செங்குத்தான பக்கங்களைக் கொண்டுள்ள கோணங்களாகும்), எனவே, $\frac{T}{P}=\sin\alpha$; $T=P\sin\alpha$.

ஆகவே சாய்தளத்தின் கோணம் α ஆக இருந்தால், சரக்குப் பெட்டியைச் செங்குத்தாகத் தூக்குவதைக் காட்டிலும், சாய்தளத்தின் மீது உருட்டி இழுப்பது $\sin\alpha$ மடங்கு எளிதாயிருக்கும்.

30°, 45°, 60°, ஆகிய கோணங்களுக்கான திரிகோண மிதி சார்புகளின் மதிப்பை நினைவில் வைத்துக் கொள்ளுதல் மிகவும் உதவியாயிருக்கிறது. சைன் சார்புகளுக்கான இந்த எண்களைத் தெரிந்து கொள்வதிலிருந்தும் ($\sin 30° = 1/2$; $\sin 45° = \sqrt{2/3}$; $\sin 60° = \sqrt{3/2}$) சாய்தளத்தின் திசையில் ஒரு பொருளை மேலேற்றுவதன் மூலம் மிச்சப்படுத்துகிற விசையின் அளவை நாம் தெரிந்து கொள்கிறோம்.

30° சாய்வான தளத்தின் உதவியால் ஒரு பொருளை மேலே தூக்குவதற்கு நாம் செலுத்தும் விசையின் அளவானது, அப்பொருளின் எடையில் பாதியாகும் (அதாவது $T = \frac{P}{2}$) என்பது நமது சூத்திரங்களிலிருந்தும் தெரிய வருகிறது. *45°, 60°* ஆகிய கோணங்களையுடைய தளங்களின் உதவியால் ஒரு சரக்குப் பெட்டியை இழுக்க வேண்டுமானுல் சரக்குப் பெட்டியின் எடையில் கிட்டத்தட்ட *0. 7, 0. 9* மடங்குக்குச் சமமான அளவுள்ள விசைகளுடன் நாம் கயிற்றை இழுக்க வேண்டியதிருக்கும். இத்தகைய செங்குத்துச் சரிவுடைய சாய்தளங்கள் நமது வேலையைச் சுலபமாக்குவதில்லை என்பதைப் பார்க்கிறோம்.

இரண்டு

இயக்க விதிகள்

இயக்கத்தைப் பற்றிய பல்வேறு நோக்கு நிலைகள்

பயண மூட்டை ஒன்று சாமான்கள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதே நேரத்தில் அது இரயிலுடன் சேர்ந்து நகர்ந்து கொண்டிருக்கிறது. ஒரு வீடு பூமியின் மேல் நிற்கிறது. ஆனால் இந்த வீடும் பூமியோடு சேர்ந்து இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறது. இது நேர்கோட்டில் சென்று கொண்டிருக்கிறது; இது ஓய்வு நிலையில் இருக்கிறது; இது சுழன்று கொண்டிருக்கிறது என்று ஒரு பொருளைப் பற்றியே பலவாறாக நாம் சொல்லலாம். வேறுபட்ட நோக்கு நிலைகளிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது இக் கூற்றுக்கள் அனைத்தும் உண்மையாயிருக்கின்றன.

வேறுபட்ட நோக்கு நிலைகளிலிருந்து கவனிக்கும் பொழுது, இயக்கப் பாதைகள் மட்டுமன்றி, அதன் தன்மைகளும் முற்றிலும் மாறுபட்டவைகளாக இருக்கின்றன.

ஒரு கப்பல் கடல் அலைகளால் குலுக்கப்படும் பொழுது அக்கப்பலில் உள்ள பொருட்களுக்கு என்னென்ன நிகழ்கின்றன என்பதை ஞாபகப்படுத்திப் பாருங்கள். மேசையின் மேலிருந்து சாம்பற்கலம் தலைகீழாக விழுந்து மிக வேகமாகப் படுக்கையின் கீழே செல்கிறது. புட்டியிலிருந்து தண்ணீர் வெளியே சிதறுகிறது. விளக்கு, ஊசலியைப் போல அசைந்தாடுகிறது. வெளிப்படையான காரணம்

ஏதுமின்றி சில பொருட்கள் நகர ஆரம்பிக்கின்றன. மற்றும் சில இயக்கத்தை நிறுத்துகின்றன. கட்டப்படாத ஒரு பொருள் எந்தத் தருணத்திலும் தன்னிச்சையான ஒரு வேகத்துடன் எந்தத் திசையிலும் நகரத் தொடங்கலாம் என்பது தான் இயக்கத்தின் அடிப்படை விதியாகும் என அக்கப்பலில் உள்ள பார்வையாளர் ஒருவர் கூறக்கூடும்.

இயக்கத்தின் பல்வேறு நோக்கு நிலைகளுள் முற்றிலும் அர்த்தமற்ற சில நோக்கு நிலைகளும் அடங்கியிருக்கின்றன என்பதை இந்த உதாரணம் எடுத்துக் காட்டுகிறது.

ஆனல் இவற்றுள் எந்த நோக்கு நிலை மிகவும்பொருத்தமானது? என்பதை நாம் உறுதி செய்ய வேண்டியிருக்கிறது.

காரணம் எதுவுமின்றி திடீரென, மேசை மேலிருந்த விளக்கு தரையின் மீது விழுந்தாலோ அல்லது காகித எடை துள்ளி விழுந்தாலோ, இவையெல்லாம் நமது கற்பனையில் உண்டானவையே என நாம் முதலில் நினைத்துக் கொள்வோம். இந்த அதிசய நிகழ்ச்சிகள் அடிக்கடி நிகழும் பொழுது தான், ஓய்வு நிலையிலிருந்த இப்பொருட்கள் இத்தகையதொரு நிலைக்கு வருவதற்கான காரணங்களைப் பற்றி நாம் ஆழ்ந்து சிந்திக்க ஆரம்பிக்கிறோம்.

ஆகவே ஒரு விசையின் செயற்பாடின்றி பொருட்கள் ஓய்வு விலையிலிருந்து சிறிதளவேனும் அசைவதில்லை என்னும் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ள இயக்கத்தின் நான்கு நிலையை பகுத்தறிவு சார்புடைய ஒன்றுகக் கருதுவது முழுவதும் சரியானதே!

ஒரு பொருள் ஓய்வு நிலையிலிருக்கிறது. ஆகவே அதன் மீது செயல்படுகிற விசைகளின் கூட்டுத்தொகை பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. அதன் மீது ஒரு விசை செயற்படும் பொழுதுதான் அது நகருகிறது என்னும் இத்தகையதொரு நோக்கு நிலை மிகவும் இயல்பானதாகத் தோன்றுகிறது.

இந்நோக்கு நிலே, ஒரு காட்சிப்பதிவாளர் (observer) இருப்பதாக முற்கோள் கொள்கிறது. ஆயினும், காட்சிப் பதிவாளர் யார் என்பதைப் பற்றி அல்லாமல் அவருடைய இருப்பிடத்தைப் பற்றி மட்டுமே நாம் அக்கறை கொள்கிறோம். ஆகவே ''இயக்கத்தின் நோக்கு நிலைக்குப்'' பதிலாக ''இயக்கம் குறிக்கப் பெறுகிற குறிப்புச் சட்டம்'' (''Frame of reference'') அல்லது எளிதாக ''குறிப்புச் சட்டம்'' என்றே நாம் சொல்கிறோம்.

பூமியில் வாழும் நமக்கு பூமியே ஒரு முக்கியமான குறிப்புச் சட்டமாக விளங்குகிறது. ஆயினும், பூமியின் மீது நகர்ந்து செல்கிற கப்பல் அல்லது இரயில் போன்றவைகளும் அடிக்கடிக் குறிப்புச் சட்டங்களாகப் பயன்படுகின்றன.

பகுத்தறிவு சார்ந்தது என நாம் கருதிய ''நோக்கு நிலையைத்'' திரும்பவும் கவனிப்போம். இக்குறிப்புச்சட்டத்தை **சடத்துவச் சட்டம்** (Inertial Frame) என்னும் பெயரால் நாம் அழைக்கிறோம்.

இச் சொல் எங்கிருந்து வந்தது என்பது பற்றி நாம் சற்று பின்னர் பார்ப்போம்.

இதன் விளைவாக, சடத்துவக் குறிப்புச் சட்டத்தின் தன்மைகள்கீழ்வருமாறு இருக்கின்றன. இத்தகையதொரு சட்டத்திற்குச் சார்பாக ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் பொருட்கள் விசைகளின் செயற்பாட்டை உணர்வதில்லை. ஆகவே இத்தகையதொரு சட்டத்தில் ஒரு விசையின் செயற்பாடின்றி எந்த ஒரு இயக்கமும் தோன்றுவதில்லை. இத்தகையதொரு சட்டத்தின் எளிமையும் தகை நலமும் சொல்லித் தெரிய வேண்டியவை அல்ல. இச்சட்டங்களில், இயக்கத்தை அறிந்து கொள்ளுதல் மிகவும் எளிதாயிருக்கிறது.

பூமி ஒரு சடத்துவக் குறிப்புச் சட்டத்திலிருந்தும் அதிகமாக வேறுபட்டிருக்கவில்லை என்னும் உண்மை மிகவும் முக்

கியமானதாகும். ஆகவே பூமியின் நோக்கு நிலையில் நோக்குவதன் மூலமாகவே இயக்கத்தின் அடிப்படைப் பண்புகளைப் பற்றிய நமது ஆராய்ச்சியை நாம் தொடங்க முடிகிறது. இருப்பினும் இதற்கு அடுத்த உட்பிரிவில் நாம் சொல்லப் போகிற எல்லாமே சடத்துவக் குறிப்புச் சட்டத்தையே அடிப்படையாகக் கொண்டது என்பதை நாம் மனதில் கொள்ள வேண்டியது அவசியம்.

சடத்துவ விதி

சடத்துவக் குறிப்புச் சட்டம் தகை நலம் வாய்ந்தது, மதிப்புக் கடங்காத அனுகூலங்களையும் கொண்டிருக்கிறது என்ற கருத்து நாமனைவரும் முழுவதுமாக ஏற்றுக் கொள்ளக் கூடிய ஒன்றாகும்.

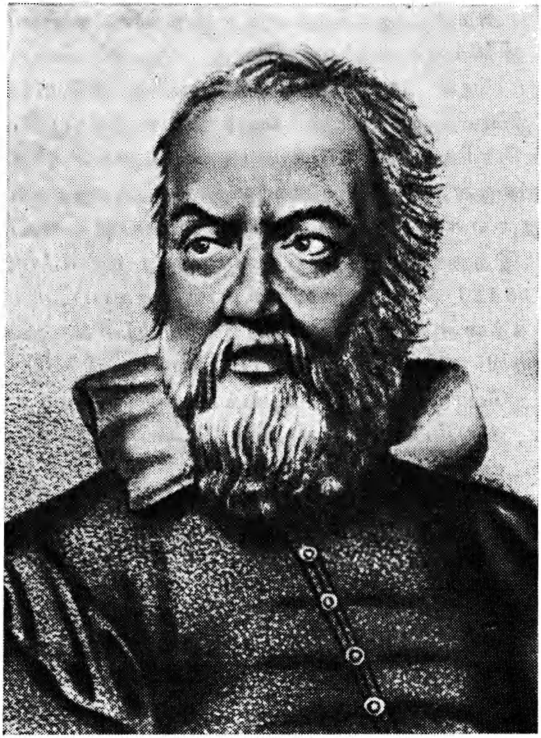
ஆனால் இத்தகையதொரு சட்டம் தன்னேரில்லாத ஒன்று அல்லது அநேக சடத்துவச் சட்டங்கள் பழக்கத்தில் இருக்கின்றனவா என்ற கேள்வி நம் ஒவ்வொருவருடைய மனதிலும் எழலாம். உதாரணமாக, பழங்காலத்திய கிரேக்கர்கள் இவற்றுள் முதல் நோக்கு நிலையைக் கொண்டிருந்தனர். இயக்கத்தின் காரணங்களைப் பற்றிய பலமிக எளிய பிரதிபலிப்புகளை அவர்களுடைய இலக்கியப் படைப்புகளில் நாம் காண முடிகிறது. இக்கருத்துக்கள் அரிஸ்டாட்டிலின் படைப்புகளில் முழுமை பெற்றிருக்கின்றன. இத்தத்துவ மேதையின் கருத்துப்படி பூமியைச் சார்ந்த மட்டில் ஒய்வு நிலையே ஒரு பொருளின் இயல்பான நிலையாகும். ஒரு பொருளின் பூமிக்குச் சார்பான ஒவ்வொரு இடப்பெயர்ச்சிக்கும் ஒரு காரணம் இருக்கிறது. அதுவே விசை எனப்படுவது. ஆனால் ஒரு பொருளை நகர்ந்து கொண்டிருக்கச் செய்வதற்கான காரணம் எதுவும் இல்லையெனில் அப்

பொருள் அதன் இயக்கத்தை நிறுத்தி, பின்னர் அதன் இயல்பு நிலைக்குத் திரும்புகிறது. இந்நிலையே பூமியைச் சார்ந்த மட்டில் அப்பொருளின் ஒய்வு நிலையாகும். இந் நோக்கு நிலையிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது பூமி மட்டுமே ஒரே தன்னேரில்லாத சடத்துவச் சட்டமாயிருக்கிறது.

இத்தவருன, ஆனல் உளநூலுக்கு உகந்த கருத்தைத் தவருனது என நிரூபித்து உண்மையைக் கண்டுபிடித்த சிறந்த இத்தாலிய நாட்டவரான கலீலியோ கலீலி (1564—1642) க்கு நாமனைவரும் கடமைப்பட்டிருக்கிருேம்

இயக்கத்தைப் பற்றிய அரிஸ்டாட்டிலின் விளக்கவுரையைப் பற்றி நாம் சிந்திப்போம். ஒய்வு நிலையே பூமியின் மீதுள்ள பொருட்களின் இயல்பான நிலையாகும் என்ற கருத்தை உறுதிப்படுத்துவதற்கு அல்லது நிராகரிப்பதற்கு அடிப்படையான நன்கு அறியப்பட்ட இயற்பாடுகளை நாம் தேடுவோம்.

விடியற்காலையில் ஒரு விமான நிலையத்திலிருந்து மேலெழுகிற ஒரு விமானத்தினுள் நாம் இருப்பதாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளவும். சூரியன் காற்றை இன்னும் சூடேற்ருததால், பல பிரயாணிகளுக்கு வெறுப்பு உண்டாக்குகிற ''காற்றுப் பைகள்'' அங்கு இல்லை. உள்ளிருப்பவர்கள் உணராத வகையிலும், அதிர்ச்சியின்றியும் விமானம் சென்று கொண்டிருக்கிறது. நாம் பலகணியின் வழியே வெளியே பார்க்காமல் இருந்தால் நாம் பறந்து கொண்டிருப்பது நமக்கே புலப்படாது. காலியான ஒரு இருக்கையில் ஒரு புத்தகம் இருக்கிறது. மேசையின் மேல் ஒரு ஆப்பிள் ஒய்வு நிலையில் இருக்கிறது. ஆகாய விமானத்தின் உள்ளேயிருக்கும் எல்லா பொருட்களும் அசைவற்று இருக்கின்றன. அரிஸ்டாட்டிலின் கொள்கை சரியானல், பொருட்கள் இவ்வாறுதான் இருந்தல் வேண்டும்? உண்மையில் அரிஸ்டாட்டிலின் கருத்துப்படி பூமியின் மீது ஒய்வு நிலையே ஒரு பொருளின் இயல்



கலீலியோ கலீலி *(1564—1642):* இவர் இத்தாலிய நாட்டைச் சேர்ந்த ஒரு சிறந்த இயற்பியல் அறிஞரும் வானூலாரும் ஆவார். அறிவியல் ஆராய்ச்சியில் முதன் முதலில் சோதனை முறையைப் புகுத்தியவர் இவரே! இவர் நமக்குச் சடத்துவக் கொள்கையை அறிமுகப்படுத்தினார். இயக்கத்தின் சார்பு நிலையை நிலை நாட்டினார். சாய்தளத்தின் மீது நடைபெறும் பொருளின் இயக்கம், கிடை மட்டத்திலிருந்து ஒரு கோணத்தில் எறியப்பட்ட பொருளின் இயக்கம் முதலானவற்றின் சுய வீழ்ச்சி விதிகளை ஆராய்ந்து

பான நிலையாகும். அப்படியானால் ஏன் எல்லா பொருட்களும் அவற்றின் ''உண்மையான'' ஓய்வு நிலைக்குத் திரும்புவதற்காக விமானத்தின் பின் சுவரின் மீது ஒன்றாகக் குவிந்து விமானத்தின் இயக்கத்தைத் தடை செய்ய முயற்சிக்கவில்லை? மேசையின் மேற் பரப்பைத் தொட்டுக் கொண்டு அதன் மீது இருக்கும் ஒரு ஆப்பிளை, ஒரு மணி நேரத்தில் நூறு கிலோமீட்டர்களைக் கடந்து செல்லும் மிக அதிக வேகத்தில் செல்ல வைப்பது எது? என்னும் இப்படிப் பட்ட கேள்விகள் நம் மனதில் எழுவது இயல்பே!

இயக்கத்தின் வினை முதல் என்ன? என்ற கேள்விக்கான சரியான பதில் என்ன? என்பதைச் சிந்தித்துப் பாருங்கள். முதலாவதாக ஓடிக்கொண்டிருக்கும் பொருட்கள் ஏன் நின்று விடுகின்றன? என்ற கேள்வியை நாம் எடுத்துக் கொண்டு ஆராய்வோம். உதாரணமாக, பூமியின் மேற் பரப்பில் உருண்டு சென்று கொண்டிருக்கிற ஒரு பந்து குறிப்

கண்டார். காலத்தைக் கணிக்க ஊசலியை உபயோகப்படுத்திய மேதையும் ஆவார். மனித வரலாற்றிலேயே முதன் முதலாக, ஆகாயத்தைத் தொலைநோக்கியின் மூலம் பார்த்து பல புதிய விண்மீன்களைக் கண்டுபிடித்தவர் இவர். பால் மண்டலம் (Milky Ways) பல்லாயிரக்கணக்கான விண்மீன் களைக் கொண்டிருக்கிறது என்பதையும் இவர் நிரூபித்தார், வியாழக் கிரகத்தின் (Jupitar) துணைக்கோள்கள். ஞாயிற்றுக் கற்றைகள், சூரியனின் சுழற்சி ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடித்தார். சந்திரனின் மேற்பரப்பின் இயல்பமைப்பை ஆராய்ந்தறிந்தார். அக்காலத்தில் கத்தோலிக்க மதகுருமார்களால் தடை செய்யப்பட்டிருந்த கோபர்னிகசின் சூரியனை மையமாகக் கொண்ட அமைப்பை கலீலியோ வெளிப்படையாக ஆதரித்தார். முரண் சமயக் கோட்பாடுகளை ஒடுக்குவதற்கான சமயத்துறை சார்ந்த தண்ட உயர் முறை மன்றத்தின் அடக்கு முறை மிகச் சிறந்த இந்த அறிவியல் அறிஞருடைய வாழ்க்கையின் கடைசிப் பத்தாண்டு காலத்தை இருட்டடித்து விட்டது.

பிட்ட நேரத்திற்குப் பின்னர் ஓய்வு நிலையை அடைந்து விடுகிறது. எந்தச் சூழ்நிலைகளில் ஒரு பந்து வெகு சீக்கிர மாக நின்று விடுகிறது. எந்தச் சூழ்நிலைகளில் அப்பந்து மெதுவாக ஓய்வு நிலையை அடைகிறது என்பதை நாம் கவனிக்க வேண்டியது அவசியமாகும். இதற்காகப் பிரத் யேகமான எந்த சோதனையையும் நாம் செய்ய வேண்டிய தில்லை. பந்து உருண்டு செல்கிற பரப்பு அதிக வழுவழுப்பாயி ருப்பின், அது அதிக தூரம் உருண்டு செல்லும் என்பதை நமது நடைமுறை அநுபவத்திலிருந்தும் நாம் நன்கு அறி வோம். இத்தகைய அனுபவங்களிலிருந்தும் பூமியின் மேற் பரப்பின் மீது உருண்டு செல்லக் கூடிய அல்லது வழுக்கிச் செல்லக் கூடிய பொருள்களின் வேகம் குறைந்து அவற்றின் இயக்கம் தடைப்படுவதற்குக் காரணமாயிருப்பது உராய்வு விசையேயாகும் என்னும் இயல்பான கருத்து நம் மனதில் எழுகிறது. உராய்வைப் பல வழிகளில் குறைக்க முடியும். இயக்கத்துக்குத் தடையாய் அமைகிற ஒவ்வொரு வகை யான தடையும் நீக்குவதற்கு நாம் அதிகம் முயற்சித்தால் (நம் சாலைகளை அதிக வழவழப்பாக அமைப்பதன் மூலமாக வும் நம் இயந்திரங்களை நன்றாக மசகிடுவதன் (lubricate) மூலமாகவும், நமது சுழலும் அச்சு உருளையமைப்பை அதி கச் செம்மையாக அமைப்பதன் மூலமாகவும்) இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஒரு பொருளின் மீது எவ்வித விசையும் செயல்படாமல், அது சுயமாக அதிக தூரத்தைக் கடக்கி றது.

உராய்வு விசை இல்லையெனில், அதாவது தடையேதும் இல்லையெனில் என்ன நிகழும் என்ற கேள்வி நம் மனதில் இயல்பாகவே எழுகிறது. இப்படிப்பட்ட சூழ்நிலையில், இயக்கம் மாறுத வேகத்துடன் ஒரே நேர்கோட்டின் மீது, முடிவின்றி தொடர்கிறது என்பதை நாம் தெளிவாக அறிகி றோம்.

கலீலியோ முதன் முதலாக நமக்குத் தந்த படிவத்தை ஒட்டியே ஏறக்குறைய நாமும் சடத்துவ விதியை முறைப் படுத்தியிருக்கிறோம். வினை முதல் எதுவுமின்றி ஒரு பொருள் சீராக ஒரு நேர்கோட்டுப் பாதையில் இயங்கும் தன்மை யையே சுருக்கமாகச் சடத்துவம் என அழைக்கிறோம். இது அரிஸ்டாட்டிலின் விளக்கத்துக்கு முற்றிலும் மாறானதாகும். சடத்துவம் என்பது உலகில் உள்ள ஒவ்வொரு பொருளிலி ருந்தும் பிரிக்கப்பட முடியாத ஒரு தன்மையாக இருக்கி றது.

இம்முக்கியமான விதியின் செல்லுபடியாகும் நிலையை நாம் எவ்வாறு உறுதி செய்வது? உண்மையில், இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு பொருளின் மீது எவ்வித விசைக ளும் செயல்படாமலிருக்கும் ஒரு சூழ்நிலையை உருவாக்கு தல் சாத்தியமானதல்ல. இது உண்மையாயிருப்பினும் கூட இன்னொரு பக்கத்தில் இதன் எதிர் நிலையையும் நாம் பார்க்க முடிகிறது. ஒரு பொருள் ஒவ்வொரு முறை அதன் இயக்க வேகத்தை அல்லது திசையை மாற்றிக் கொள்ளும் பொழு தும் இம்மாற்றத்துக்குக் காரணமாயிருக்கிற ஒரு வினை முதல் அதாவது ஒரு விசையைக் கண்டுபிடிப்பது சாத்தியமாகி றது. உயரத்திலிருந்து பூமியை நோக்கி விழுகிற ஒரு பொருளின் வேகம் அதிகரிக்கிறது; பூமியின் ஈர்ப்பு விசையே இதன் வினை முதலாகும். கயிற்றுடன் கட்டப்பட்டு ஒரு கல் வட்ட வடிவப் பாதையைச் சுற்றி வருகிறது. ஒரு நேர்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து இக்கல்லை விலக்குவதற்குக் காரணமான வினை முதல் கயிற்றின் இழுவிசையேயாகும். கயிறு அறுந்து விட்டால், அக் கயிறு அறுபடும் தறுவாயில் கல் எந்தத் திசையில் சென்று கொண்டிருந்ததோ அதே திசையிலேயே கல் வேகமாக விடுபட்டுச் செல்கிறது. ஓடிக் கொண்டிருக்கும் மோட்டார் வண்டியின் மோட்டாரை நிறுத்தியவுடன் அதன் வேகம் குறையத் தொடங்குகிறது.

காற்றுத்தடை, சாலையின் மேல் ரப்பர் டயர்கள் உண்டாக்குகிற உராய்வு, சுழலும் உருளை அச்சில் அமைந்திருக்கும் குறைபாடுகள் அகிய இவையே இதற்கான காரணங்களாகும்.

இவ்வாறு, பொருட்களின் இயக்கத்தைச் சரிவர அறிந்து கொள்வதற்குச் சடத்துவ விதியே அடிப்படையாக அமைகிறது.

இயக்கம் சார்பானதே

சடத்துவச் சட்டங்களின் பல்வேறு தன்மைகளை வெளிக்கொணருவதற்குச் சடத்துவ விதி வழி காட்டுகிறது.

''வினை முதல் இல்லா'' இயக்கங்களைப் பல குறிப்புச் சட்டங்கள் தவிர்க்கின்றன. இத்தகையதொரு சட்டத்தை நாம் காண முடிந்தால், இதற்குச் சார்பாக நேர்கோட்டுப் பாதையில் சீராக முன்னேக்கிச் சென்று கொண்டிருக்கிற (சுழற்சியில்லாமல்) மற்ருெரு சட்டத்தை நாம் உடனடியாகக் கண்டு கொள்ள முடியும். மேலும் சடத்துவச் சட்டம் ஏனையவற்றிலிருந்தும் சிறிதளவேனும் சிறப்புப் பெற்ற ஒன்ருகவோ அல்லது எவ்வகையிலும் மாறுபட்ட ஒன்ருகவோ இருப்பதில்லை. பல்வேறு வகையான சடத்துவக் குறிப்புச் சட்டங்களிலிருந்தும் மிகச் சிறந்த சட்டம் ஒன்றை நாம் கண்டுபிடிப்பது சாத்தியமானதல்ல. எல்லா சடத்துவச் சட்டங்களிலும் பொருட்களின் இயக்க விதிகள் ஒத்திருக்கின்றன. விசைகளின் செயற்பாட்டினுல் மட்டுமே ஒரு பொருள் இயங்குகிறது. விசைகளால் மட்டுமே இயங்குகிற பொருளின் வேகத்தைக் குறைக்க முடிகிறது; விசைகள் எதுவும் செயல்படாமல் இருக்கும் பொழுது, பொருள் ஓய்வு நிலையிலேயே இருக்கிறது அல்லது நேர்கோட்டுப் பாதையில் சீராகச் செல்கிறது.

பரிசோதனைகளின் மூலம் ஒரு குறிப்பிட்ட சட்டத்தை ஏனையவைகளிலிருந்தும் வேறுபடுத்திக் காட்டும் சாத்திய இல்லாமையே இயற்பியலின் மிக முக்கியமான விதிகளுள் ஒன்ருன கலீலியின் சார்பியல் கோட்பாட்டின் சாராம்சமாக அமைகிறது.

ஆயினும், இரண்டு சடத்துவச் சட்டங்களில் இயற்பாடுகளை ஆராய்கிற காட்சிப்பதிவாளரின் நோக்கு நிலைகள் முழுவதுமாக ஒத்திருப்பினுங்கூட ஒரே உண்மையைப் பற்றிய அவர்கள் இருவரின் முடிவுகளும் வேறுபடுகின்றன. உதாரணமாக, ஓடிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு இரயிலில் ஒரு இருக்கையின் மேல் அமர்ந்திருக்கும் காட்சிப் பதிவாளர் ஒருவர், அவருடைய இருக்கை எப்பொழுதும் விசும்பில் ஒரே இடத்திலேயே அமைந்திருப்பதாகச் சொல்லுவார். ஆனல் நடை மேடையின் மீது நின்று கொண்டிருக்கும் மற்ருெரு காட்சிப்பதிவாளரோ அவ்விருக்கை ஓரிடத்திலிருந்து மற்ருெரு இடத்திற்கு நகர்ந்து சென்று கொண்டிருக்கிறது என்பதை உறுதியாகக் கூறுவார். அல்லது, ஒரு துப்பாக்கியால் சுட்டுக் கொண்டிருக்கும் காட்சிப்பதிவாளர் ஒருவர் 500 மீ/விஞடி என்ன வேகத்துடன் துப்பாக்கிக் குண்டு பறந்து சென்றது என்று கூறுவார். ஆனல் 200 மீ/விஞடி வேகத்துடன் துப்பாக்கிக் குண்டின் திசையிலேயே ஓடிக் கொண்டிருக்கிற ஒரு சட்டத்திலிருந்து பார்க்கும் மற்ருெரு காட்சிப் பதிவாளரோ, துப்பாக்கிக் குண்டு 300 மீ/விஞடி என்ற குறைந்த வேகத்துடன் சென்று கொண்டிருக்கிறது எனக் கூறுவார்.

இருவரில் யார் கூறுவது சரியானது? என்ற கேள்வி நம் மனதில் எழுவது இயல்பே! இருவருமே சரியாகத்தான் கூறுகிருர்கள். ஏனென்ருல் ஒரு தனிப்பட்ட சடத்துவச் சட்டத்திற்கு முன்னுரிமை அளிப்பதை இயக்கத்தின் சார்பியல் கோட்பாடு அனுமதிப்பதில்லை.

விசும்பில் ஒரு இருப்பிடத்தைப் பற்றிய அல்லது இயக்கத்தின் திசைவேகத்தைப் பற்றி நிபந்தனையற்ற உண்மையான தனி முதல் வாசகங்கள் எவற்றையும் கூற முடியாது எனத் தோன்றுகிறது. விசும்பில் ஒரு இட அமைவு, இயக்கத்தின் திசைவேகம் ஆகிய கோட்பாடுகள் சார்பானவையே! இத்தகைய சார்பான கோட்பாடுகளைப் பற்றிக் கூறும் பொழுது நாம் எந்த சடத்துவக் குறிப்புச் சட்டத்தை மனதில் கொண்டிருக்கிறோம் என்பதைக் குறிப்பிட வேண்டியது அவசியமாகிறது.

ஆகவே இயக்கத்தைப் பற்றிய, தன்னேரில்லா, தனிப்பட்ட, சரியானதொரு நோக்கு நிலை இல்லாதிருத்தலால், விசும்பின் சார்பியல் தன்மையை நாம் அனைவரும் ஏற்றுக் கொள்ள வேண்டிய நிலை எழுகிறது. விசும்பில், ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் அதாவது எல்லாக் காட்சிப்பதிவாளர்களின் நோக்கு நிலையின் படியும் ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் ஒரு பொருளை, நாம் காண முடிந்தால், விசும்பைச் சார்பற்றது என நாம் அழைக்கலாம். ஆனால் இவ்வாறு முழுமையாகச் செய்வது சாத்தியமானதல்ல.

பொருட்கள் யாவும் உள்ளே சிதறப்பட்டுக் காட்சியளிக்கிற ஒன்றாக விசும்பை வர்ணிக்க முடியாது என்பது தான் விசும்பு சார்பியல் தன்மை கொண்டுள்ளது என்பதன் பொருளாகும்.

விசும்பின் சார்பியல் தன்மையை அறிவியல் உடனேயே ஏற்றுக் கொள்ளவில்லை. விசும்பு சார்பற்றது என்ற கொள்கையை நிரூபிக்க இயலாது என்பதை மிகச் சிறந்த அறிஞராகிய நியூட்டன் அறிந்திருந்த போதிலும், இக்கொள்கையை அவர் ஏற்றுக் கொண்டார். 19ம் நூற்றாண்டின் இறுதி வரை இத்தவறான நோக்கு நிலையைப் பல இயற்பியல் அறிஞர்கள் ஏற்றுக் கொண்டனர். அக உணர்வுத் தன்மையே இதற்கான காரணமாகத் தோன்றுகிறது. நம்

மைச் சுற்றிலும் விசும்பில் எல்லா இடங்களும் அசையாம லிருப்பதைப் பார்த்துப் பார்த்து நாம் நன்கு பழக்கப்பட்டு விட்டோம்.

இயக்கத்தின் தன்மையைப் பற்றி சார்பற்ற முடிவுகள், என்னென்ன எடுக்க முடியும் என்பதை நாம் கூற வேண் டியது அவசியமாகிறது.

ஒரே குறிப்புச் சட்டத்துக்குச் சார்பாக v_1, v_2 ஆகிய திசைவேகங்களுடன் இரு பொருட்கள் இயங்கிக் கொண்டி ருந்தால், $(v_1—v_2)$ ஆகிய இவற்றின் வித்தியாசம் (திசை யுளிகளின் வித்தியாசம்) எல்லா சடத்துவப் பார்வையாளர் களுக்கும் சர்வசமமாகத் தெரிகிறது. ஏனெனில் குறிப்புச் சட்டம் மாறும் பொழுது v_1, v_2 ஆகிய இரு திசை வேகங்களும் ஒரே அளவு மாறுதலடைகின்றன.

ஆகவே இரு பொருட்களின் திசைவேகங்களின் திசை யுளி வித்தியாசம் சார்பற்றதாயிருக்கிறது. அப்படியானால், ஒரு குறிப்பிட்ட நேர இடைவெளியில் ஒரு பொருளுடைய திசைவேகத்தின் திசையுளி அதிகரிப்பும் சார்பற்றதாயிருக் கிறது. அதாவது இதன் மதிப்பு எல்லா சடத்துவக் காட் டிப் பதிவாளர்களின் நோக்கிலும் சர்வசமமாயிருக்கிறது.

திசைவேகத்தின் மாறுதலைப் போலவே ஒரு பொருளின் சுழற்சியும் சார்பற்ற தன்மையைக் கொண்டிருக்கிறது. சுழற்சியின் திசையும் ஒரு நிமிடத்தில் நடைபெறுகிற சுழற் சியின் எண்ணிக்கையும், எல்லா சடத்துவச் சட்டங்களின் நோக்கு நிலைகளிலிருந்து நோக்கும் பொழுதும் சர்வசம மாகவே இருக்கின்றன.

வானிலிருக்கும் ஒரு பார்வையாளரின் நோக்கு நிலை

ஒரு சடத்துவச் சட்டத்தின் நோக்கு நிலையிலிருந்து இயக்கத்தைப் புரிந்து கொள்வதாக நாம் தீர்மானித்தி

ருக்கிறோம். ஆகவே பூமியில் நிலை கொண்டிருக்கும் ஒரு காட்சிப்பதிவாளரின் பணிகளை நாம் நிராகரிக்க வேண்டியிருக்குமா? நிகோலஸ் கோபர்னிகஸ் நிரூபித்தது போலவே உண்மையில், பூமி அதனுடைய அச்சில் சுழல்வதுடன் சூரியனையும் சுற்றி வருகிறது. கோபர்ஸிகளினுடைய கருத்துக்களின் உண்மைகளைப் பரப்பியதற்காக ஜியார்டினோ ப்ருனோ உயிருடன் எரிக்கப்பட்டார். கலீலியோ அவமானப்படுத்தப்பட்டு நாடு கடத்தப்பட்டார் என்ற செய்திகளிலிருந்தும் கோபர்னிகஸின் கொள்கை எவ்வளவு புரட்சிகரமானதாக இருந்திருக்க வேண்டும் என்பதை வாசகர்கள் இப்பொழுது எண்ணிப் பார்ப்பதற்குக் கடினமாயிருக்கலாம்.

கோபர்னிகஸின் நுண்ணிய அறிவு கண்டுபிடித்தது என்ன? மனித இனத்தின் நியாயமான கருத்துக்களையும், பூமியின் சுழற்சி, சுற்று ஆகியவற்றின் கண்டுபிடிப்பையும் ஒரே நிலையில் நோக்க வேண்டும் என்பதற்காக முற்போக்கு எண்ணமுடையவர்கள் பலர் தங்களின் உயிரையே பணயமாகக் கொடுக்கத் தயாராக இருந்திருக்கின்றனர். ஏன்? இதற்கான காரணம் என்ன? என்ற கேள்விகள் நம் மனதில் உடனேயே எழுகின்றன.

உலகின் இரு முக்கியக் கொள்கைகளைப் பற்றிய உரையாடல் (ப்தோலேமிக் மற்றும் கோபர்னிகஸின் கொள்கைகளை) நூலை எழுதியதற்காக கலீலியோ மத குருமார்களால் துன்புறுத்தப்பட்டார். கோபர்னிகசின் கொள்கைகளை எதிர்த்தவர்களை அரைகுறை அறிவுடையவர்கள் என்னும் பொருள்படும் பெயரால் கலீலியோ இந்நூலில் குறிப்பிட்டுள்ளார்.

உண்மையில், சாதாரண காட்சிப்பதிவாளர் ஒருவரின் நோக்கு நிலையிலிருந்து கவனித்தால் அதாவது பொது அறிவுடன் நோக்கினால், கோபர்னிகஸின் கொள்கை அர்த்தமற்றதாகத் தோன்றும். உண்மையில் நாம் பூமியைப் பார்க்கி

றேம். அது நிலேயாகவே இருக்கிறது. பூமி எப்படி சுழல முடியும்? பதிலாக சூரியனும் விண்மீன்களுமே உண்மையில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கின்றன.

கோபர்னிகசின் கண்டு பிடிப்பைப் பற்றி மதகுருமார்கள் எத்தகைய மனப்பான்மை கொண்டிருந்தனர் என்பது மதகுருமார்களின் கூட்டத்தில் (1616) எடுக்கப்பட்ட கீழ் வரும் முடிவுகளின் மூலம் தெளிவாகத் தெரியவருகிறது:

''உலகத்தின் மையத்தில் சூரியன் இயக்கமற்று அமைந்திருக்கிறது என்னும் கொள்கை தவமுனதாகவும் அர்த்தமற்றதாகவும் இருப்பதோடு திருச்சபையின் கருத்துக்களுக்கும் வேத வாசகத்திற்கும் முற்றிலும் முரணுகவும் இருக்கிறது. பூமி, உலக மையத்தில் அமையப் பெறுமல், ஒவ்வொரு நாளும் தன்னைத் தானே ஒரு முறை சுற்றுவதுடன், சூரியனேயும் சுற்றி இயங்குகிறது என்னும் பொருள் பொதிந்த கொள்கையும் தத்துவ ரீதியில் நோக்கும் பொழுது தவமுனதாகவும் அர்த்தமற்றதாகவும் இருக்கின்றன. அத்துடன் விவிலியத்தின் அடிப்படையில் நோக்கும் பொழுது இக் கொள்கை முற்றிலும் தவமுன ஒன்ருகத் தோன்றுகிறது.''

இயற்கையின் விதிகளேப் புரிந்து கொள்ளாத தன்மை, மதக் கொள்கைகளின் மேலுள்ள அசைக்க முடியாத நம்பிக்கை, ஒரு தவமுன பொது அறிவு ஆகிய இம் மூன்றும் சேர்ந்ததே இம்முடிவாகும். 17ம் நூற்ருண்டின் உண்மைகளாக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டவைகளேப் பெருந்துணிவுடன் எதிர்த்த கோபர்னிகஸ் மற்றும் அவருடைய சீடர்களின் மனத் துணிவுக்கு இதைவிடச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டு எதுவும் இருக்க முடியாது. மேலே கேட்கப்பட்ட கேள்வியை நாம் இப்பொழுது கவனிப்போம்.

ஒரு காட்சிப்பதிவாளருடைய இயக்கத்தின் திசைவேகம் மாறிஞலோ அல்லது அவர் சுழற்சியில் ஈடுபட்டாலோ, ''சரியான'' காட்சிப்பதிவாளரின் பட்டியலிலிருந்து அவர்

ருக்கிறோம். ஆகவே பூமியில் நிலை கொண்டிருக்கும் ஒரு காட்சிப்பதிவாளரின் பணிகளை நாம் நிராகரிக்க வேண்டியி ருக்குமா? நிகோலஸ் கோபர்னிகஸ் நிரூபித்தது போலவே உண்மையில், பூமி அதனுடைய அச்சில் சுழல்வதுடன் சூரிய னையும் சுற்றி வருகிறது. கோபர்னிகஸினுடைய கருத்துக் களின் உண்மைகளைப் பரப்பியதற்காக ஜியார்டினோ ப்ருனோ உயிருடன் எரிக்கப்பட்டார். கலீலியோ அவமானப்படுத்தப் பட்டு நாடு கடத்தப்பட்டார் என்ற செய்திகளிலிருந்தும் கோபர்னிகஸின் கொள்கை எவ்வளவு புரட்சிகரமானதாக இருந்திருக்க வேண்டும் என்பதை வாசகர்கள் இப்பொழுது எண்ணிப் பார்ப்பதற்குக் கடினமாயிருக்கலாம்.

கோபர்னிகஸின் நுண்ணிய அறிவு கண்டுபிடித்தது என்ன? மனித இனத்தின் நியாயமான கருத்துக்களையும், பூமியின் சுழற்சி, சுற்று ஆகியவற்றின் கண்டுபிடிப்பையும் ஒரே நிலையில் நோக்க வேண்டும் என்பதற்காக முற்போக்கு எண்ணமுடையவர்கள் பலர் தங்களின் உயிரையே பணய மாகக் கொடுக்கத் தயாராக இருந்திருக்கின்றனர். ஏன்? இதற்கான காரணம் என்ன? என்ற கேள்விகள் நம் மன தில் உடனேயே எழுகின்றன.

உலகின் இரு முக்கியக் கொள்கைகளைப் பற்றிய உரையாடல் (ப்தோலேமிக் மற்றும் கோபர்னிகஸின் கொள்கைகளை) நூலை எழுதியதற்காக கலீலியோ மத குரு மார்களால் துன்புறுத்தப்பட்டார். கோபர்னிகசின் கொள் கைகளை எதிர்த்தவர்களை அரைகுறை அறிவுடையவர்கள் என்னும் பொருள்படும் பெயரால் கலீலியோ இந்நூலில் குறிப்பிட்டுள்ளார்.

உண்மையில், சாதாரண காட்சிப்பதிவாளர் ஒருவரின் நோக்கு நிலையிலிருந்து கவனித்தால் அதாவது பொது அறி வுடன் நோக்கினால், கோபர்னிகஸின் கொள்கை அர்த்த மற்றதாகத் தோன்றும். உண்மையில் நாம் பூமியைப் பார்க்கி

றும். அது நிலையாகவே இருக்கிறது. பூமி எப்படி சுழல முடியும்? பதிலாக சூரியனும் விண்மீன்களுமே உண்மையில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கின்றன.

கோபர்னிகசின் கண்டு பிடிப்பைப் பற்றி மதகுருமார்கள் எத்தகைய மனப்பான்மை கொண்டிருந்தனர் என்பது மதகுருமார்களின் கூட்டத்தில் (1616) எடுக்கப்பட்ட கீழ் வரும் முடிவுகளின் மூலம் தெளிவாகத் தெரியவருகிறது:

''உலகத்தின் மையத்தில் சூரியன் இயக்கமற்று அமைந்திருக்கிறது என்னும் கொள்கை தவறானதாகவும் அர்த்தமற்றதாகவும் இருப்பதோடு திருச்சபையின் கருத்துக்களுக்கும் வேத வாசகத்திற்கும் முற்றிலும் முரணாகவும் இருக்கிறது. பூமி, உலக மையத்தில் அமையப் பெறாமல், ஒவ்வொரு நாளும் தன்னைத் தானே ஒரு முறை சுற்றுவதுடன், சூரியனையும் சுற்றி இயங்குகிறது என்னும் பொருள் பொதிந்த கொள்கையும் தத்துவ ரீதியில் நோக்கும் பொழுது தவறானதாகவும் அர்த்தமற்றதாகவும் இருக்கின்றன. அத்துடன் விவிலியத்தின் அடிப்படையில் நோக்கும் பொழுது இக் கொள்கை முற்றிலும் தவறான ஒன்றாகத் தோன்றுகிறது.''

இயற்கையின் விதிகளைப் புரிந்து கொள்ளாத தன்மை, மதக் கொள்கைகளின் மேலுள்ள அசைக்க முடியாத நம்பிக்கை, ஒரு தவறான பொது அறிவு ஆகிய இம் மூன்றும் சேர்ந்ததே இம்முடிவாகும். 17ம் நூற்றாண்டின் உண்மைகளாக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டவைகளைப் பெருந்துணிவுடன் எதிர்த்த கோபர்னிகஸ் மற்றும் அவருடைய சீடர்களின் மனத் துணிவுக்கு இதைவிடச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டு எதுவும் இருக்க முடியாது. மேலே கேட்கப்பட்ட கேள்விகளை நாம் இப்பொழுது கவனிப்போம்.

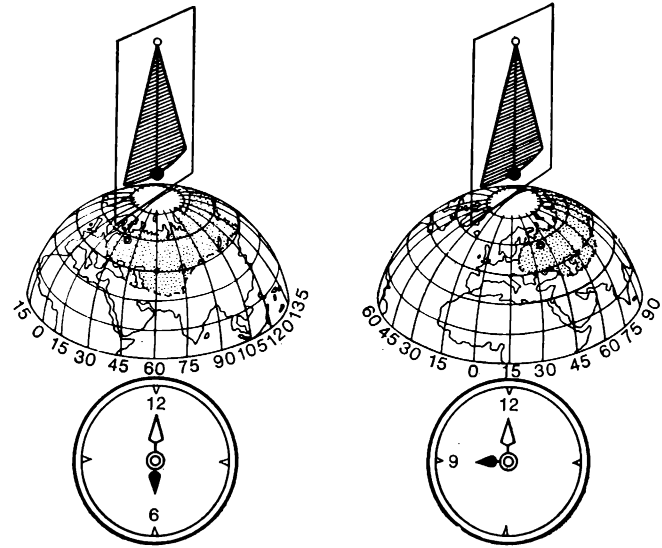
ஒரு காட்சிப்பதிவாளருடைய இயக்கத்தின் திசைவேகம் மாறினாலோ அல்லது அவர் சுழற்சியில் ஈடுபட்டாலோ, ''சரியான'' காட்சிப்பதிவாளரின் பட்டியலிலிருந்து அவர்

நீக்கப்படுதல் வேண்டும். ஆனால் மிகச் சரியாகச் சொல்லப் போனால் பூமியில் இருக்கும் ஒரு காட்சிப்பதிவாளரோ மேற் கூறிய ஒரு சூழ்நிலையில்தான் இருக்கிறார். இருப்பினும் ஒரு இயக்கத்தை நோக்குவதற்கு அக்காட்சிப்பதிவாளர் எடுத் துக் கொள்ளும் நேரத்தில் ஏற்படுகிற திசைவேகத்தின் மாறுதல் அல்லது அவருடைய சுழற்சி சிறிதளவாகவே இருந்தால், அவரை நிபந்தனையுடன் கூடிய ''சரியான'' பார்வையாளராக ஏற்றுக் கொள்ளலாம். பூமியில் இருக் கும் ஒரு பார்வையாளருக்கு இந்நிபந்தனை ஏற்றதாயிருக்கும என்பதை நாம் தெரிய வேண்டும்.

பூமி ஒரு வினாடியில் ஒரு டிகிரியில் 240ல் ஒரு பங்கு, அதாவது ஏறக்குறைய 0.00007 ரேடியன் அளவு சுற்று கிறது. இது மிகவும் அதிகமானதல்ல என எடுத்துக் கொள் ளலாம். ஆகவே நாம் சந்திக்கிற பலதரப்பட்ட இயற்பா டுகளைப் பொறுத்த மட்டில் பூமியைச் சடத்துவச் சட்டமாக ஏற்றுக் கொள்ளலாம்.

ஆயினும், கால நீட்டிப்புடைய இயற்பாடுகளை நோக் கும் பொழுது, பூமியின் சுழற்சியையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ள நாம் மறந்து விடக் கூடாது.

தூய ஐசக் கதீட்ரலின் குலிமாடத்தின் கீழ் ஒரு பெரிய ஊசலி தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இவ்வூசலியை நாம் அலை வுறச் செய்யும் பொழுது அதன் அலைவுத் தளம் மெதுவா கச் சுழலுவதைச் சிறிது நேரத்திலேயே நாம் கவனிக்க முடிகிறது. பல மணி நேரத்திற்குப் பின்னர் அலைவுத்தளம் குறிப்பிடத்தக்க கோண அளவு திரும்பியிருக்கும். இப்படிப் பட்ட ஒரு ஊசிலியைக் கொண்டு மேலே விவரிக்கப்பட்ட பரிசோதனை ஒன்று பூகோ என்னும் பிரெஞ்சு அறிவியல் அறிஞரால் முதன் முதலாகச் செய்யப்பட்டது. அன்றிலி ருந்து இச்சோதனை அவருடைய பெயரையே கொண்டுள்ளது.



படம் 13

கோவின் பரிசோதனையின் மூலம் பூமியின் சுழற்சியை நேரடியாகப் பார்க்க முடிகிறது (படம்13).

ஆகவே காட்சிப் பதிவு செய்யப்படுகிற இயக்கம் வெகு நேரம் தொடருமேயாயின், பூமியில் உள்ள ஒரு காட்சிப்பதிவாளரின் பணிகளைப் பயன்படுத்தாமல், சூரியன், விண்மீன்கள் ஆகியவற்றில் நிலைகொண்டிருக்கிற ஒரு குறிப்புச் சட்டத்தை நமது அடிப்படையாக எடுக்க வேண்டிய நிர்பந்தத்துக்கு உள்ளாக்கப்படுவோம். சூரியனும், விண்மீன்களும் ஓய்வு நிலையில் இருப்பதாக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட இத்தகையதொரு சட்டத்தையே கோபர்னிகஸ் உபயோகப்படுத்தினர்.

ஆயினும், உண்மையில் கோபர்னிகசின் சட்டம் முழுவதும் சடத்துவமான ஒன்றல்ல.

பால் மண்டலங்கள் என அழைக்கப்படும் நட்சத்திரக் கூட்டங்கள், பிரபஞ்சத் தீவுகள் ஆகியவற்றை அதிக எண் ணிக்கையில் கொண்டிருக்கிறது இப்பிரபஞ்சம். நம் ஞாயிற் றுக் குடும்பம் அடங்கியிருக்கிற பால் மண்டலத்தில் ஏறக் குறைய நூறு பில்லியன் விண்மீன்கள் இருக்கின்றன. இப்பால் மண்டலத்தின் மையத்தை மையமாகக் கொண்டு சூரியன் 180 மில்லியன் ஆண்டுகள் என்ற காலவட்டத்துடனும், 250 கி.மீ/விஞடி என்னும் வேகத்துடனும் சுற்றி வருகிறது.

சூரியனில் இருக்கும் ஒரு காட்சிப்பதிவாளரைச் சடத் துவப் பார்வையாளராக எடுத்துக் கொள்வதனுல் விளை யும் தவறு என்ன? என்பதைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

பூமி, சூரியன் ஆகியவற்றில் அமைந்திருக்கும் காட்சிப் பதிவாளர்களின் சிறப்பு நலன்களை ஒப்பிடுவதற்காக சூரியக் குறிப்புச் சட்டம் ஒரு விஞடியில் திரும்புகிற கோண அள வைக் கணக்கிடுவோம். சூரியக் குறிப்புச் சட்டம் ஒவ்வொரு 180×10^6 ஆண்டுகளுக்கு (6×10^{15} விஞடிகளில்) ஒருமுறை முழுமையாகச் சுற்றிஞல் ஒரு விஞடியில் 6×10^{-14} டிகிரி அல் லது 10^{-15} ரேடியன் என்னும் கோண அளவு திரும்புகிறது. இதிலிருந்தும் பூமியின் காட்சிப்பதிவாளரைக் காட்டிலும் சூரியப் பார்வையாளர் 100 பில்லியன் மடங்குகள் சிறந் தவராயிருக்கிருர் என நாம் கூறலாம்.

சடத்துவச் சட்டத்துக்கு இன்னும் அதிகமாக ஒன்றியி ருக்க வேண்டும் என்னும் விருப்பத்தின் காரணமாக, வான வியல் அறிஞர்கள் சில பால் மண்டலங்களைச் சார்ந்த குறிப்புச் சட்டத்தை அடிப்படையாக ஏற்றுக் கொள்கின் றனர். பலதரப்பட்ட குறிப்புச் சட்டங்களிலும் இத்தகைய தொரு குறிப்புச் சட்டமே மிகவும் சடத்துவமானதாகும். இதைவிடச் சிறந்ததொரு சட்டத்தைக் கண்டுபிடித்தல் சாத்தியமானதல்ல.

வானவியல் அறிஞர்கள் விண்மீன்களைப் பற்றிய காட்

சிப் பதிவுகளைத் தயாரிப்பதாலும், விண்மீன்களின் நோக்கு நிலையிலிருந்து வானத்துப் பொருட்களின் இயக்கங்களை விவரிப்பதாலும், விண்மீன்களை உற்று நோக்குபவர்கள் என அழைக்கப்படுகிறார்கள்.

முடுக்கம்

இயற்பியல் அறிஞர்கள் மாறுதலடைகின்ற திசைவேகங்களைக் குறிப்பதற்காக முடுக்கம் என்னும் கோட்பாட்டை உபயோகப்படுத்துகிறார்கள்.

ஒரு விநாடியில் ஏற்படுகிற திசைவேகத்தில் மாறுதலே முடுக்கம் (Acceleration) என அழைக்கப்படுகிறது. பொருளின் திசைவேகம் ஒரு விநாடியில் என்னும் அளவு மாறுதலடைகிறது என்று சொல்வதற்குப் பதிலாக ''பொருளின் முடுக்கம் ஆகும்'' என்று நாம் சுருங்கச் சொல்கிறோம்.

ஒரு நேர்கோட்டுப் பாதை இயக்கத்தின் திசைவேகத்தை ஒரு கணத்தில் v_1 எனவும், அடுத்த கணத்தில் v_2 எனவும் நாம் குறிப்பிட்டால், முடுக்கமாகிய a ஐக் கணக்கிடுவதற்கு நாம் பயன்படுத்துகிற விதி $a=\frac{v_2-v_1}{t}$ என்னும் சூத்திரத்தின் மூலம் அறிவிக்கப்படுகிறது. இதில் t என்பது வேகம் மாறியதற்கிடையேயான நேரமாகும்.

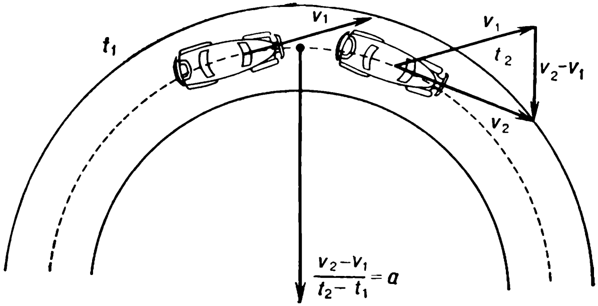
வேகமானது செ.மீ/விநாடி, மீ/விநாடி என்ற அலகாலும், நேரம் விநாடிகளிலும் அளக்கப்படுகின்றன. ஆகவே முடுக்கமானது செ.மீ/விநாடி/விநாடி என்ற அலகால் அளக்கப்படுகின்றது. செ.மீ/விநாடியால் குறிக்கப்படுகிற ஒரு எண் மறுபடியும் விநாடியால் வகுக்கப்படுகிறது. ஆகவே செ.மீ/விநாடி^{2} (மீ/விநாடி^{2}) என்பதே முடுக்கத்தின் அலகாகும்.

உண்மையில், ஒரு இயக்கத்தின் போக்கில் முடுக்கமும் மாறக்கூடும். எனினும் இந்த அசாதாரண சூழ்நிலையால் நாம் நமது அறிமுறைகளைச் சிக்கலாக்கப் போவதில்லை. ஒரு இயக்கத்தின் போக்கில் திசை வேகமானது ஒரே சீராக மாறுகிறது என நாம் மறைமுகமாக மேற்கோள் செய்கிறோம். இத்தகைய ஒரு இயக்கமானது சீராக முடுக்கப் பட்ட இயக்கம் என அழைக்கப்படுகிறது.

வளைகோட்டுப் பாதை இயக்கத்தில் முடுக்கம் எனப்படுவது யாது?

திசைவேகம் ஒரு திசையுளியாயிருப்பதால், திசைவேகத்தின் மாறுதலும் (வித்தியாசம்) ஒரு திசையுளியாயிருக்கிறது; ஆகவே முடுக்கமும் ஒரு திசையுளியாகும். முடுக்கத் திசையுளியைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டுமாயின், திசைவேகங்களுக்கிடையேயான திசையுளி வித்தியாசத்தை நேரத்தால் வகுக்க வேண்டும். ஆனால் திசைவேகத் திசையுளி மாறுதலைக் கண்டுபிடிப்பது பற்றி ஏற்கனவே நாம் விவரித்திருக்கிறோம்.

நெடுஞ்சாலையில் வளைவு ஒன்று இருக்கிறது. நாம் ஒன்றுக்கொன்று அருகில் அமைந்திருக்கிற ஒரு காரின் இரு இடநிலைகளைக் கவனித்து அக்காரின் திசைவேகங்களைத் திசையுளிகளால் குறித்துக் கொள்வோம் (படம் 14). இத்திசையுளிகளின் வித்தியாசமானது எக்காரணத்தாலும் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயில்லாத ஒரு கணியமாகும். இவ்வித்தியசத்தைக் கழிந்த நேரத்தால் வகுப்பதன் மூலம் நாம் முடுக்கத் திசையுளியைக் கண்டுபிடிக்கிறோம். வளைவில் செல்லும்பொழுது வேகம் மாறாமலிருந்தாலுங் கூட முடுக்கம் ஏற்படுகிறது. வளைகோட்டுப் பாதை இயக்கம் எப்பொழுதும் முடுக்கப்படுகிறது. ஒரே சீரான நேர்கோட்டுப் பாதை இயக்கம் ஒன்று மட்டுமே முடுக்கப்படாத இயக்கமாகும்.



படம் 14

ஒரு பொருளுடைய இயக்கத்தின் திசைவேகத்தைப் பற்றிப் பேசுகையில், இயக்கத்துக்குச் சார்பான நமது நோக்கு நிலை என்ன என்பதை நாம் முன் கூட்டியே அறிவித்து விடுகிறோம். ஒரு பொருளின் திசை வேகம் சார்பானது. ஒரு சடத்துவச் சட்டத்தின் நோக்கு நிலையில் இது அதிகமானதாக இருக்கக் கூடும். மற்றொரு சடத்துவச் சட்டத்தின் நோக்கு நிலையில் இது மிகக் குறைவாகவும் இருக்கக் கூடும். முடுக்கங்களைப் பற்றிப் பேசும் பொழுதும் மேலே கூறப்பட்ட அதே வகையான முன் வரைகளை நாம் செய்ய வேண்டுமல்லவா என்ற கேள்வி எழுகிறது. உண்மையில் இது அவசியமல்ல. திசைவேகத்தைப் போலல்லாமல், முடுக்கம் சர்வசமமாகவே இருக்கிறது. உண்மையில் முடுக்கமானது இடைவெளியில் ஏற்படுகிற பொருளின் திசைவேகங்களுக்கிடையேயான வித்தியாசத்தைச் சார்ந்திருக்கிறது. நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருப்பது போன்று, இவ்வித்தியாசமானது எல்லா நோக்கு நிலைகளிலும் சர்வசமமாயிருக்கும், அதாவது சார்பற்றதாகும்.

முடுக்கமும் விசையும்

ஒரு பொருளில் எவ்வித விசையும் செயல்படாமலிருந்தால் அது முடுக்கமின்றியே இயங்க முடிகிறது. மாறாக விசையின் செயற்பாடே ஒரு பொருளை முடுக்குகிறது. மேலும் விசை அதிகமானால் முடுக்கமும் அதிகமாகிறது. பொருள் ஏற்றப்பட்ட ஒரு சரக்கு வண்டியை நாம் வேகமாக நகர்த்த விரும்பினால் நாம் அதிகத் தசை பலத்தை உபயோகிக்க வேண்டியிருக்கிறது. ஒரு விதியின்படி, இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஒரு பொருளில் இரு விசைகள் செயலாற்றுகின்றன. அவற்றில் ஒன்று முடுக்கத்தை ஏற்படுத்துகிற இழுவிசையாகும். மற்றொன்று எதிர் முடுக்கத்தை உண்டாக்குகிற உராய்வு விசை அல்லது காற்றுச் தடையாகும்.

தொகுபயன் விசை என அழைக்கப்படுகிற, மேற்கூறிய இரு விசைகளின் வித்தியாசம், இயக்கத்தின் திசையிலோ அல்லது இயக்கத்துக்கு எதிர்த்திசையிலோ அமைந்திருக்கலாம். முதல் நிகழ்ச்சியில் பொருள் அதன் இயக்கத்தை வேகப்படுத்துகிறது. இரண்டாவது நிகழ்ச்சியில் அது வேகத்தைக் குறைக்கிறது. எதிர்த்திசைகளில் செயல்படுகிற இவ்விசைகள் ஒன்றுக்கொன்று சமமாயிருந்தால் அப்பொருளின் மீது எவ்வித விசைகளும் செயல்படாதது போலவே அப்பொருள் ஒரே சீராக இயங்குகிறது.

ஆனால் ஒரு விசை, அது உண்டாக்குகிற முடுக்கத்துடன் எவ்வாறு சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது? இக் கேள்வியின் பதில் எளிதில் புரிந்து கொள்ளக் கூடியதாயிருக்கிறது. முடுக்கம் விசைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது: $a \propto F$ ($\propto$ என்ற குறியீடு நேர் விகிதச் சமன்பாட்டைக் குறிக்கிறது).

ஒரு பொருளின் மீது விசை ஒன்று செயல்படும் பொழுது அப்பொருளின் இயக்கத்தை முடுக்குகிற திறனை அதன் குணாதிசயங்கள் எவ்வாறு பாதிக்கின்றன என்ற இன்னொரு

கேள்விக்கு நாம் பதிலளிக்க வேண்டியிருகிறது. ஏனென்ருல் ஒரே விசை வித்தியாசமான பொருட்களின் மீது செயல் படும் பொழுது அவற்றிற்கு வித்தியாசமான முடுக்கங்களைக் கொடுக்கின்றன என்பது நாமனைவரும் தெரிந்த உண்மை யாகும்.

எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே முடுக்கத்துடனேயே பூமியை நோக்கி விழுகின்றன என்னும் முக்கியமான சூழ்நிலையின் கீழ், நாம் மேலெழுப்பிய கேள்விக்கான பதிலைக் காண விழைவோம். இம்முடுக்கம் g என்னும் எழுத்தால் குறிக் கப்படுகிறது. மாஸ்கோவின் அருகில் gயின் மதிப்பு 981 செ.மீ/வினடி² ஆகும்.

எல்லாப் பொருட்களும் சர்வசமமான முடுக்கத்தைக் கொண்டிருப்பதை முதன் முறையிலேயே நேரடிச் சோத னைகள் உறுதி செய்யவில்லை. சாதாரண சூழ்நிலையில் ஒரு பொருள் உயரத்திலிருந்து விழும் பொழுது ஈர்ப்பு விசை தவிர காற்றுத் தடை என்னும் மற்றுமொரு ''தடுப்பு விசை யும்'' அப்பொருளின் மீது செயல்படுகிறது என்பதுதான் இதன் காரணமாகும். இலேசான மற்றும் கனமான பொருட் கள் வித்தியாசமான முறைகளில் உயரத்திலிருந்து கீழே விழுவதனுல், பழங்காலத்துத் தத்துவ வல்லுநர்கள் மிகவும் குழப்பமடைந்திருந்தனர். ஒரு இரும்புத் துண்டு வேகமாகக் கீழே விழுகிறது; ஆனுல் ஒரு இறகு காற்றில் மிதந்து மெது வாகக் கீழ் இறங்குகிறது. ஒரு காகிதத் துண்டு மெதுவாகப் பூமியை நோக்கி இறங்குகிறது; ஆனுல் அதே காகிதத் துண் டைச் சுருட்டினுல் அது முன்னைவிட அதிக வேகத்துடன் கீழிறங்குகிறது. பூமியின் ஈர்ப்பு விசையினுல் இயங்குகிற ஒரு பொருளின் இயக்கத்தின் உண்மையான நிலையை வளி மண்டலம் திரித்து விடுகிறது என்ற உண்மையைப் பழங் கால கிரேக்கர்கள் ஏற்கனவே அறிந்திருந்தனர். இருப்பி னும், காற்று நீக்கப்பட்டாலும், கனமான பொருட்கள்

இலேசான பொருட்களைக் காட்டிலும் வேகமாகக் கீழிறங்கும் என்றே டெமாக்ரிடஸ் எண்ணியிருந்தார். ஆனால் காற்றுத் தடையானது இதற்கு எதிரான விளைவையும்: உண்டாக்கக்கூடும். உதாரணமாக ஒரு மெல்லிய அலுமினியத் தகட்டின் ஒரு சிறு பகுதியை நொறுக்கிச் செய்யப்பட்ட பந்தைக் காட்டிலும் அந்த அலுமினியத் தகடு (சுருட்டப்படாத) மிக மெதுவாகவே கீழிறங்குகிறது.

இறகைப் போன்று காற்றில் மிதந்து மெதுவாகக் கீழிறங்குகிற அளவுக்கு மிக மெல்லிய (பல மைக்ரான்கள் தடிப்புடைய) உலோகக் கம்பிகள் இப்பொழுது தயாரிக்கப்படுகின்றன என்பதை இங்குக் குறிப்பிடுவது பொருத்தமானதே!

எல்லாப் பொருட்களும் வெற்றிடத்தில் சர்வசமமாகவே கீழிறங்க வேண்டும் என அரிஸ்டாட்டில் எண்ணினார். கீழ் வரும் முரண்பட்ட அனுமானத்தை யூகிப்பதற்கு அவர் இந்த அறிமுறையின் முடிவை உபயோகித்தார். ''வேறுபட்ட பொருட்கள் ஒரே வேகத்துடன் கீழிறங்குவது முற்றிலும் அர்த்தமற்றதாயிருப்பதால், வெற்றிடம் என ஒன்று இருப்பதற்குச் சாத்தியக் கூறு எதுவும் இல்லை'' என்பது தெளிவாகிறது.

பொருட்கள் மாறுபட்ட முடுக்கங்களுடனோ அல்லது ஒரே முடுக்கத்துடனேயே பூமியை நோக்கி விழுகின்றனவா என்பதைப் பரிசோதனை மூலம் நிரூபிக்க முடியும். எனப் பழங்காலத்திய மற்றும் இடைக்காலத்திய அறிவியல் அறிஞர்கள் எவரும் எண்ணவில்லை. பூமியின் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் பொருண்மையைப் பற்றிய சம்பந்தமில்லாமல், எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே முடுக்கத்துடன் பூமியை நோக்கி விழுகின்றன என்பதைக் கலீலியோதான் அவருடைய பிரசித்தி பெற்ற பரிசோதனையின் மூலம் (சாய்தளத்தின் மீது மேலிருந்து கீழிறங்குகிற பந்துகளின் இயக்கத்தைப் பற்றியும், சாய்ந்திருக்கிற பைசா நகரத்து கோபுரத்தின்

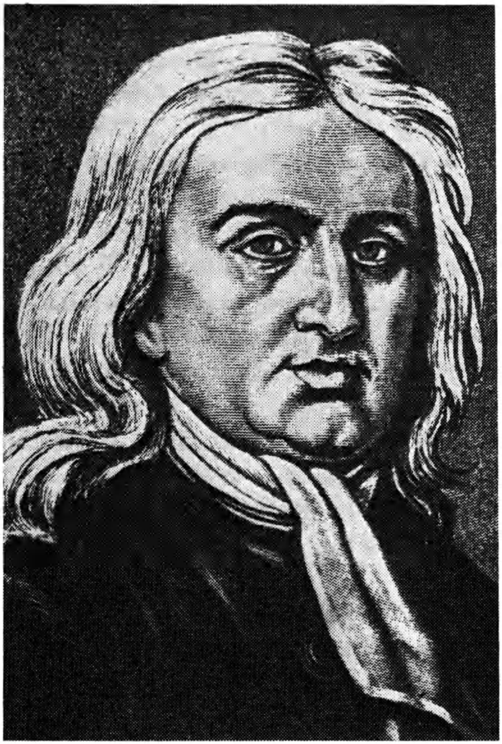
உச்சியிலிருந்து எறியப்பட்ட பொருட்களின் வீழ்ச்சியைப் பற்றியும் அவர் ஆராய்ந்தார்) நிரூபித்தார். காற்று முழுவதுமாக வெளியேற்றப்பட்ட ஒரு நீண்ட குழாயின் உதவியால் இப்பொழுது இப்படிப்பட்ட அறிவியல் சோதனைகள் மிக எளிதாகச் செய்து காட்டப்படுகின்றன. இப்படிப்பட்ட ஒரு குழாயினுள் ஒரு இறகும், ஒரு கல்லும் ஒரே வேகத்துடன் கீழிறங்குகின்றன. எடை என்னும் ஒரே விசையே பொருட்களின் மீது செயல்படுகின்றன. மற்றொரு விசையாகிய காற்றுத் தடை முழுவதுமாக நீக்கப்பட்டிருக்கிறது. காற்றுத் தடை இல்லாதிருக்கையில் எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே சீராக முடுக்கப்பட்ட இயக்கத்துடன் பூமியை நோக்கி விழுகின்றன.

மேலே எழுப்பிய கேள்வியை நாம் மறுபடியும் கவனிப்போம். பொருளின் மீது ஒரு விசை செயல்படும் பொழுது அப்பொருளின் இயக்கத்தை முடுக்குகிற திறனை அதன் குணாதிசயங்கள் எவ்வாறு பாதிக்கின்றன? என்பதுதான் அக் கேள்வியாகும்.

கலீலியோவின் விதியின்படி, பொருண்மையைப் பற்றிய சம்பந்தமில்லாமல் எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே முடுக்கத்துடன் கீழ் நோக்கி விழுகின்றன. ஆகவே m கி.கி.வி என்னும் விசையின் செயற்பாட்டினால், m கி.கி பொருண்மையுடைய ஒரு பொருள் g என்னும் முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது.

சுயமாக விழுகிற பொருட்களைப் பற்றிப் பேசுவதை நிறுத்துவோம். 1 கி.கி.வி அளவுள்ள ஒரு விசை m கி.கி பொருண்மையின் மீது செயல்படுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். முடுக்கமானது விசைக்கு நேர்விகிதத்தில் அமைந்திருப்பதால் அது g ஐவிட m மடங்குக் குறைவானதாய் இருக்கிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட விசையினால் (நம் உதாரணத்தில் 1



சர் ஐசக் நியூட்டன் *(1643—1727)*: இவர் ஆங்கில நாட்டைச் சேர்ந்த புத்தி கூர்மை வாய்ந்த இயற்பியல் அறிஞரும் கணித மேதையும் ஆவார். மனித வரலாற்றில் இது வரை தோன்றிய மிகச் சிறந்த அறிவியல் அறிஞர்களுள் ஒருவராவார். இவர் எந்திரவியலின் அடிப்படைக் கோட்பாடுகளையும் விதிகளையும் அமைத்துத் தந்தார். அனைத்து ஈர்ப்பு விதி ஒன்றையும் கண்டுபிடித்துப் பின்னர் இவற்றை அடிப்படையாகக் கொண்டு 20ம் நூற்றுண்டின் தொடக்கம் வரையிலும் எவராலும் மறுத்துக் கூற முடியாதபடி

கி.கி.வி) ஏற்படுகிற ஒரு பொருளின் முடுக்கமாகிய a ஆனது அப்பொருளின் பொருண்மைக்குத் தலைகீழ் விகிதத்தில் இருக்கிறது என்ற முடிவுக்கு நாம் வந்துள்ளோம்.

இரு முடிவுகளையும் ஒன்று சேர்த்து, $a \propto \frac{F}{m}$ என நாம் எழுதலாம். அதாவது பொருண்மை மாறிலியாயிக்கும் பொழுது முடுக்கமானது விசைக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. விசை மாறிலியாயிருக்கும் பொழுது, முடுக்கமானது பொருண்மைக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலிருக்கிறது.

முடுக்கத்தை, பொருளின் பொருண்மையுடனும், அப்பொருளின் மீது செயல்படுகிற விசையுடனும் சம்பந்தப்படுத்துகிற இவ்விதியானது மிகச் சிறந்த ஆங்கில அறிஞராகிய சர் ஐசக் நியூட்டன் (1643—1727) என்பவரால் கண்டுபிடிடிக்கப்பட்டது. ஆகவே இது நியூட்டன் விதி என அழைக்கப்படுகிறது.*

---

* இயக்கமானது மூன்று விதிகளுக்குட்பட்டது என்பதை நியூட்டனே நிரூபித்தார். நாம் இங்கு விவாதித்துக் கொண்

இவ்வுலகின் இயற்பியல் மாதிரி ஒன்றை உருவாக்கினர். இவர் வானத்துப் பொருட்களின் இயக்கம் பற்றிய கொள்கை ஒன்றை அறிவியலினுள் புகுத்தினர். சந்திரனின் இயக்கம் பற்றிய சிறப்பு அம்சங்களையும் அலைகளின் எழுச்சிக்கான காரணத்தையும் விளக்கினர். இயற்பியலின் ஒரு பகுதியான ஒளியியலின் வேகமான வளர்ச்சிக்குக் காரணமான சில முக்கிய கண்டுபிடிப்புகள் நியூட்டனல் செய்யப்பட்டவையே! இயற்கையை ஆராய்ந்தறிவதற்கு அவசியமான ஆற்றல் வாய்ந்த கணித முறைகளாகிய வகையீட்டு நுண்கணிதம் தொகையீட்டு நுண் கணிதம் முயலியவற்றை உலகுக்குத் தந்த பெருமை இவரையே சாரும். இதைத் தொடர்ந்து ஏற்பட்ட இயற்பியல் வளர்ச்சி முழுவதிலும் இது ஒரு முக்கிய பங்கேற்றத்துடன் இயற்பியல் ஆராய்ச்சியில் கணித முறைகளைப் புகுத்துவதற்கும் வகை செய்த்து.

முடுக்கமானது செயல்படுகிற விசைக்கு நேர்விகிதத்திலும் பொருளின் பொருண்மைக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலும் இருக்கிறதேயன்றிப் பொருளின் வேறு எந்தத் தன்மைகளையும் சார்ந்ததல்ல. ஒரு பொருளின் பொருண்மையே அதன் சடத்துவத் தன்மையின் அளவை நிர்ணயிக்கிறது என்பது நியூட்டனின் விதியிலிருந்தும் தெரிய வருகிறது. ஒத்த விசைகள் வித்தியாசமான பொருண்மையையுடைய இரு பொருட்களின் மேல் செயல்படும் பொழுது குறைந்த பொருண்மையுடைய பொருளைவிட அதிகப் பொருண்மையுடைய பொருளை முடுக்குவது மிகவும் கடினமானதாகும், என்பதை நாம் அறிவோம். ஒரு தராசில் வைத்து நிறுத்தித் தீர்மானிக்கக் கூடியஒருசாதாரணஅளவேபொருண்மையாகும் என நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருக்கிற பொருண்மையின் கோட்பாடு ஒரு புதிய ஆழ்மானப் பொருளைப் பெற்றிருக்கிறது என்பது இப்பொழுது தெரிய வருகிறது. பொருண்மையானது ஒரு பொருளின் விசை இயக்கவியல் தன்மைகளை நிர்ணயிக்கிறது.

நியூட்டன் விதியை

$$kF = ma$$

என நாம் எழுதலாம்; இங்கு k என்பது மாறுத கெழுவாகும். இக்கெழு (coefficient) நாம் உபயோகப்படுத்தும் அலகுகளைப் பொறுத்திருக்கிறது.

நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருக்கிற விசையின் அலகை (கி.கி.வி) உபயோகப்படுத்தாமல், சிறிது மாறுபட்ட அலகைப் பயன்படுத்துவோம். இயற்பியல் அறிஞர்கள் செய்ய

டிருக்கும் விதியானது நியூட்டனின் விதிகளின் வரிசையில் இரண்டாவதாக வைத்து எண்ணப்படுகிறது. சடத்துவ விதியை முதல் விதியாகவும் வினை, எதிர்வினை பற்றிய விதியை மூன்றும் விதியாகவும் அவர் அழைத்தார்.

விளைவது போன்று, நியூட்டன் விதியில் வரும்விகிதக் கெழுவை ஒன்றுக்குச் சமமாக இருக்கும் படியாக நாம் விசையின் அலகைத் தெரிவு செய்வோம். அப்படியானுல், நியூட்டனின் விதி: $F=ma$ என்னும் வடிவத்தைப் பெறுகிறது.

நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருப்பது போலவே இயற்பியலில் பொருண்மையைக் கிராம்களிலும், தூரத்தைச் சென்டிமீட்டர்களிலும் நேரத்தை விஞடிகளிலும் அளத்தல் வழக்கமாகும். இம்மூன்று அடிப்படைக் காரியங்களை ஆதாரமாகக் கொண்ட அலகு முறையை சிஜிஎஸ் முறை (CGS) என நாம் அழைக்கிரேம்.

மேலே முறைப்படுத்தப்பட்ட தத்துவத்தின் உதவியுடன் இப்பொழுது விசையின் அலகு ஒன்றை நாம் தெரிவு செய்வோம். 1 கிராம் பொருண்மைக்கு 1 செ.மீ/விஞடி^{2} என்னும் முடுக்கத்தை அளிக்கக்கூடியதாகிய ஒரு விசையின் அளவு ஒரு அலகாக இருக்கும் என்பது தெளிவாகிறது. இத்தகைய ஒரு விசையானது இம்முறையில் டைன் (Dyne) என்னும் பெயரைப் பெற்றுள்ளது. $F=ma$ என்னும் நியூட்டனின் விதியின்படி, m கிராமை a செ.மீ/விஞடி^{2} ஆல் நாம் பெருக்கினுல் விசையானது டைன்களில் குறிக்கப்படும். ஆகவே நாம் கீழ்வரும் குறியீடுகளை உபயோகிக்கிரேம்:

$$1 \text{ டைன்} = 1 \text{ கி.செ.மீ/விஞடி}^2$$

பொதுவாக ஒரு பொருளின் எடையை P என்னும் எழுத்தால் குறிக்கிரேம். P என்னும் விசையானது பொருளுக்கு g என்னும் முடுக்கத்தைக் கொருக்கிறது. டைன்களில் குறிப்பிட்டால்,

$P=mg$ என நாம் எழுதலாம். ஆனுல் கிலோகிராம்—விசை (கி.கி.வி) என்னும் ஒரு விசையின் அலகை நாம் ஏற்

கனவே பார்த்திருக்கிறோம். மேலே கண்ட இறுதிச் சூத்திரத்திலிருந்தும் பழைய, புதிய அலகுமுறைகளுக்கிடையேயான சம்பந்தத்தை நாம் நேரடியாகக் காண்கிறோம்:

1கி.கி.வி = 981000 டைன்கள்.

ஒரு டைன் என்பது மிகச் சிறிய விசையாகும். இது கிட்டத்தட்ட ஒரு மில்லிகிராம் அளவுள்ள எடைக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

சமீப காலத்தில் நடைமுறைக்குக் கொண்டு வரப்பட்ட இப்புதிய அலகு முறைகளைப் (உலகப் படித்தரம்) பற்றி நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். இப்புதிய முறையில் விசையின் அலகு நியூட்டன் (நி) என்னும் பெயரைக் கொண்டிருப்பது மிகவும் பொருத்தமானதாய் இருக்கிறது. இத்தகைய அலகுகளைத் தெரிவு செய்வதன் மூலம், நியூட்டனின் விதி கூடியமட்டும் எளிதானதாகத் தோன்றுகிறது:

1நி = 1கி.கி. மீ/விஞடி^{2} என இப்புதிய அலகு வரையறுக்கப்பட்டிருக்கிறது, அதாவது 1 கிலோகிராம் பொருண்மையின் மீது 1மீ/விஞடி^{2} என்னும் முடுக்கத்தை ஏற்படுத்துவதற்கு அவசியமான விசை 1 நி ஆகும்.

இப்புதிய விலகை டைனுடனும், கிலோகிராமுடனும் எளிதில் சம்பந்தப்படுத்தலாம்:

1நி = 100000 டைன்கள் = 1/9.8 கி.கி.வி.

மாறுத முடுக்கத்துடன் கூடிய நேர்கோட்டியக்கம்

ஒரு பொருளின் வேகத்தை அதிகப்படுத்துவதற்கோ அல்லது குறைப்பதற்கோ காரணமாயிருக்கிற, அப்பொருளின் மேல் செயல்படுகிற விசைகளின் தொகுபயன் மாறிலியாயிருக்கும் பொழுது இத்தகையதொரு இயக்கம்

தோன்றுகிறது என்பது நியூட்டனின் விதியிலிருந்தும் தெரிய வருகிறது.

இத்தகைய சூழ்நிலைகள் நிரந்தரமாக அமைந்திருக்காவிட்டாலும், அடிக்கடி எழுகின்றன. உதாரணமாக, ஓடிக் கொண்டிருக்கும் காரின் மோட்டார் நிறுத்தப்பட்ட, உடனேயே கிட்டத்தட்ட நிலையாய் இருக்கிற உராய்வு விசையினுல் அக்காரின் வேகம் குறைகிறது. ஒரு மாருத விசையின் செயற்பாட்டினுல் ஒரு கனமான பொருள் உயரத்திலிருந்து கீழ் நோக்கி விழுகிறது.

தொகுபயன் விசையின் எண் மதிப்பையும், பொருளின் பொருண்மையையும் தெரிந்து கொள்வதன் மூலம் $a=\frac{F}{m}$ என்ற சூத்திரத்திலிருந்தும் முடுக்கத்தின் அளவை நாம் தீர்மானிக்க முடிகிறது.

t என்பது இயக்கத்தின் கால அளவாகவும், v என்பது முடிவு வேகமாகவும், v_0 என்பது ஆரம்ப வேகமாகவும் இருக்கும் பொழுது

$$a=\frac{v-v_0}{t}$$

என்னும் சூத்திரத்தின் உதவியால் கீழே தரப்பட்டிருப்பவை போன்ற சில கேள்விகளுக்குப் பதிலளிப்பது சாத்தியமாகிறது. ஓடிக் கொண்டிருந்த ஒரு இரயில் ஓய்வு நிலைக்கு வருவதற்கு எவ்வளவு நேரம் எடுக்கிறது? (எதிர் முடுக்க விசை, இரயிலின் பொருண்மை, ஆரம்ப வேகம் ஆகியவை தெரிந்திருக்க வேண்டியது அவசியம்) அல்லது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரு கார் என்ன வேகத்தில் சென்று கொண்டிருக்கும்? (மோட்டாரின் திறன், தடை, காரின் பொருண்மை முடுக்கம் நிலை பெற்றிருக்கும் கால அளவு ஆகியவற்றைத் தெரிந்திருத்தல் அவசியம்).

ஒரே சீராக முடுக்கப்பட்ட இயக்கத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரு பொருள் கடக்கும் தூரத்தைத் தெரிந்து கொள்ள வேண்டிய அவசியம் நமக்கு அடிக்கடி ஏற்படுகிறது. இயக்கம் சீரானதாயிருந்தால் இயக்க வேகத்தை அதன் கால நீட்சியால் பெருக்குவதன் மூலம், கடக்கப்பட்ட தூரத்தைக் கணக்கிடலாம். இயக்கம் சீராக முடுக்கப்பட்டால், ஆரம்ப வேகம், முடிவு வேகம் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகையில் பாதி அளவு வேகத்துடன் அதே t என்னும் நேரத்தில் பொருள் சீராக இயங்கியதாக எடுத்துக் கொண்டு கடக்கப்பட்ட தூரம் கணக்கிடப்படும்:

$$s=\frac{1}{2}(v_0+v)\,t$$

ஆகவே, சீராக முடுக்கப்பட்ட (எதிர் முடுக்கம் செய்யப்பட்ட) இயக்கத்தின் போது ஒரு பொருள் கடக்கும் தூரமானது, ஆரம்ப வேகம், முடிவு வேகம் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகையில் பாதி இயக்க நேரம் ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இதே நேரத்தில் $\left(\frac{v_0+v}{2}\right)$ என்னும் வேகத்துடன் கூடிய ஒரு சீரான இயக்கத்தின் போதும் இதே தூரம்தான் கடக்கப்படும். இக்கருத்தின்படி $\left(\frac{v_0+v}{2}\right)$ என்பது சீராக முடுக்கப்பட்ட இயக்கத்தின் சராசரி வேகம் என நாம் கூறலாம்.

கடக்கப்பட் தூரம் முடுக்கத்துடன் எவ்வாறு சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது என்பதை எடுத்துக் காட்டும் ஒரு சூத்திரத்தை அமைப்பது மிக உதவியாக இருக்கும். கடைசிச் சூத்திரத்தில் $v=(v_0+at)$ என்னும் மாற்றீடு செய்வதனுல்,

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

என்னும் சூத்திரத்தை நாம் பெறுகிறோம். அல்லது, ஆரம்ப வேகம் எதுவும் இல்லாமல் இயக்கம் ஏற்பட்டால்

$$s=\frac{1}{2}at^2$$

ஒரு பொருள் ஒரு விநாடியில் 5 மீட்டர் தூரம் சென்றால், இரண்டு விநாடிகளில் (4×5) மீட்டர் தூரம் செல்லும், மூன்று விநாடிகளில் (9×5) மீட்டர் தூரம் செல்லும். பயணம் செய்த தூரமானது நேரத்தில் இருமடியின் தகவுப் பொருத்த அளவின்படி அதிகரிக்கிறது.

இவ்விதியின்படியே கனமான ஒரு பொருள் உயரத்திலிருந்து கீழ்நோக்கி விழுகிறது. சுய வீழ்ச்சியின் போது முடுக்கமானது gக்குச் சமமாயிருக்கிறது. நமது சூத்திரம் கீழ் வரும் வடிவத்தைப் பெறுகிறது (இங்கு t, விநாடிகளில் குறிக்கப்படல் வேண்டும்):

$$s=\frac{981}{2}t^2 \text{ [செ.மீ]}$$

100 விநாடிகள் ஒரு பொருள் தடையேதுமின்றி விழ முடியுமேயானால் அதன் வீழ்ச்சியின் தொடக்கத்திலிருந்து அது மிக அதிகமான தூரத்தைக் கடக்க வேண்டியிருக்கும். அதாவது கிட்டத்தட்ட 50 கி.மீ தூரத்தைக் கடக்கும். மேலும் முதல் 10 விநாடிகளில் 0.5 கி.மீ தூரத்தையே கடக்கும். இதுவே முடுக்கப்பட்ட இயக்கத்தின் முக்கிய அம்சமாகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்திலிருந்து விழுகிற பொருள் என்ன வேகத்தை அடையும்? என்ற கேள்விக்கும் பதிலளிக்க வேண்டுமாயின், கடக்கப்பட்ட தூரத்துடன், முடுக்கம், வேகம் ஆகியவற்றைச் சம்பந்தப்படுத்துகிற சூத்திரங்கள் நமக்குத் தேவைப்படுகின்றன. $s=\frac{1}{2}(v_0+v)t$ என்னும் சூத்திரத்தில் $t=\frac{v_0-v}{a}$ என்னும் மாற்றீடு செய்வ

தன் மூலம் $s=\frac{1}{2a}(v^2-v_0^2)$ என்னும் சூத்திரத்தை நாம் பெறுகிறோம். அல்லது, தொடக்க வேகம் பூச்சியத்திற்குச் சமமாயிருந்தால்,

$$s=\frac{v^2}{2a}, \quad v=\sqrt{2as}.$$

இரண்டு அல்லது மூன்று மாடிகளையுடைய ஒரு சிறிய கட்டிடத்தின் உயரம் 10 மீட்டர்கள் ஆகும். இப்படிப்பட்ட வீட்டின் உச்சியிலிருந்து தரையை நோக்கிக் குதிப்பது ஏன் அபாயகரமானதாயிருக்கிறது? இப்படிப்பட்ட ஒரு சுய வீழ்ச்சியின் வேகமானது $v=\sqrt{2\times 9.8\times 10}$ மீ/விநாடி $=14$ மீ/விநாடி $\simeq 50$ கி.மீ/மணி என்னும் அளவை அடைகிறது என்பதை ஒரு எளிய கணக்கீடு காட்டுகிறது. நகர் எல்லைக்குள் ஒரு காரின் வேகம் இதுவேயாகும்.

காற்றுத் தடை இவ்வேகத்தை அதிகமாகக் குறைப்பதில்லை.

நாம் இது வரையிலும் குறித்துக் காட்டிய சூத்திரங்கள் எல்லாம் பலதரப்பட்ட கணக்கீடுகளுக்காகப் பயன்படுத்தப் பட்டன. சந்திரனில் இயக்கங்கள் எவ்வாறு நிகழ்கின்றன என்பதைத் தெரிந்து கொள்வதற்காக இப்பொழுது நாம் இச்சூத்திரங்களை உபயோகிப்போம்.

எச்.சி. வெல்சின் **சந்திரனில் முதல் மனிதர்கள்** என்னும் நாவலில், சந்திரனுக்கு விநோதமாக பயணம் செய்த பிரயாணிகளின் ஆச்சரியமான அநுபவங்களைப் பற்றி நாம் படிக்கிறோம். ஈர்ப்பு முடுக்கமானது, பூமியிலிருப்பதைவிடச் சந்திரனில் கிட்டத்தட்ட 6 மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறது. பூமியில் சுயமாக விழுகிற ஒரு பொருள் முதல் விநாடியில் 5 மீட்டர்களைக் கடந்தால், அதே பொருள் சந்திரனில் 80 செ.மீ தூரத்தை மட்டுமே கடந்திருக்கும் (சந்

திரனில் முடுக்கமானது கிட்டத்தட்ட 1.6 மீ/விஞடி^{2} க்குச் சமமாயிருக்கிறது).

சந்திரனில் நிகழ்கிற ''அதிசயங்களை'' விரைந்து கணக்கிட்டுக் கூறுவதற்கு நாம் மேலே காட்டியிருக்கிற சூத்திரங்கள் வெகுவாக உதவுகின்றன.

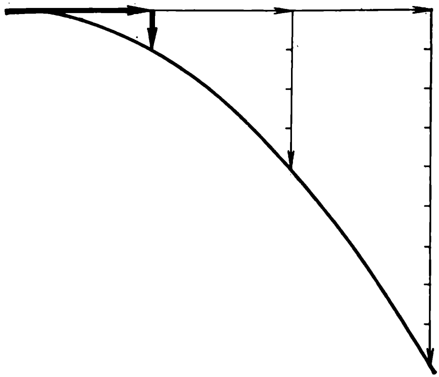
h மீட்டர் உயரத்திலிருந்து குதிக்கும் ஒருவன் தரையை அடைவதற்கு $\sqrt{6} \approx 2.45$ மடங்குகள் அதிக நேரம் தேவைப்படுகிறது. குதித்தவனின் முடிவு வேகம் எத்தனை மடங்குகளால் குறைக்கப்பட்டிருக்கும் $(v=\sqrt{2gh})$?

சந்திரனில், மூன்று மாடி வீட்டிலிருந்து ஒருவன் குதித்துப் பாதுகாப்பாகத் தரையை அடைய முடிகிறது. ஒரே ஆரம்ப வேகத்துடன் குதிப்பவனின் குதிக்கும் உயரமானது பூமியிலிருப்பதைவிடச் சந்திரனில் 6 மடங்குகள் அதிகமாக உள்ளது. $\left(h=\frac{v^2}{2g}\right)$ பூமியில் பதிலாயிருக்கிற அதிக உயரத்தைக் காட்டிலும் ஒரு குழந்தை அதிக உயரத்துக்குக் குதிக்க முடிகிறது.

ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டின் பாதை

ஒரு பொருளைக் கூடிய மட்டிலும் அதிக தூரம் செல்லுமாறு எவ்வாறு எறிவது என்ற பிரச்னைக்கு ஞாபகத்துக்கு எட்டாத மிகப் பழங்காலத்திலிருந்தே மக்கள் தீர்வு கண்டிருக்கின்றனர். கையால் எறியப்பட்ட கல், கவணிலிருந்து வீசப்பட்ட கல், வில்லிலிருந்து செலுத்தப்பட்ட அம்பு துப்பாக்கிக் குண்டு, பீரங்கிப்படைக் குண்டு, உந்து விசைப் படையின் ஏவுகணை ஆகியவை இத்துறையில் ஏற்பட்ட வெற்றியின் சுருக்கமான பட்டியலாகும்.

எறியப்பட்ட பொருளானது பரவளைவு (parabola) என அழைக்கப்படும், ஒரு வளைகோட்டுப் பாதையில் செல்கிறது.



படம் 15

எறியப்பட்ட பொருளின் இயக்கத்தைக் கிடைத்தளத்திலும் நிலைக்குத்துத்தளத்திலும், உடனிகழ்வாகவும், தன்னியலாகவும் நிகழ்கிற இரு இயக்கங்களின் தொகுதியாக நாம் எடுத்துக் கொண்டால் இப்பரவளைவை எளிதில் அமைக்கலாம். துப்பாக்கியிலிருந்து விடுபட்டுச் செல்கிற ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டானது சடத்துவத் தன்மையினால் ஒரு மாறாத திசைவேகத்துடன் கிடைத்தளத்தில் இயங்குவதோடு ஈர்ப்பு முடுக்கம் நிலைக்குத்துத் திசையில் செயல்படுவதால், உடனிகழ்வாக, ஒரு மாறாத முடுக்கத்துடன் பூமியை நோக்கிச் செங்குத்தாகவும் விழுகிறது. ஆனால் இவ்விரு இயக்கங்களையும் கூட்டுவது எப்படி என்பதை நாம் பார்ப்போம்.

ஆரம்பத் திசைவேகமானது கிடைத் திசையில் அமைந்திருக்கும் ஒரு எளிய நிகழ்ச்சியுடன் நமது முயற்சியைத் தொடங்குவோம். (கிடைத்தளத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் துப்பாக்கிக் குழலிலிருந்தும் விடுபட்ட குண்டின் இயக்கத்தைப் பற்றி நாம் ஆராய்வோம்).

ஒரு சார்பு கோட்டுப்படக் காகிதத் துண்டை எடுத்து

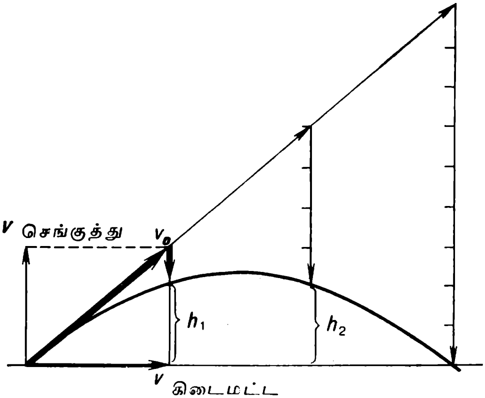
அதில் ஒரு கிடைக்கோடும் ஒரு செங்குத்துக் கோடும் வரையவும் (படம் 15). இரு இயக்கங்களும் சார்பின்றி நிகழ்வதால், t விநாடிகளுக்குப் பின்னர், v_0t அளவு வலது புறமாகவும், $\frac{gt^2}{2}$ அளவு கீழ்நோக்கியும் அப்பொருள் இடப் பெயர்ச்சியடைகிறது. கிடைக்கோட்டின் மீது v_0t அளவுள்ள ஒரு நீளப்பகுதியைக் குறிக்கவும். பின்னர் அதன் இறுதிப் புள்ளியிலிருந்து $\frac{gt^2}{2}$ அளவுள்ள ஒரு நீளப்பகுதியை செங்குத்துத் திசையில் குறிக்கவும். இச்செங்குத்துக் கோட்டுப் பகுதியின் மற்றொரு நுனியானது, t விநாடிகளுக்குப் பின்னர் பொருள் இருக்கும் புள்ளியைக் குறிக்கிறது.

இவ்வித அமைப்பு சில புள்ளிகளிலும் அதாவது சில தருணங்களில் செய்யப்படல் வேண்டும். பொருளின் பாதையைக் குறிக்கிற அலையாடாத சார்புக்கோட்டு வரைபடமாகிய பரவளைவு இப்புள்ளிகளின் வழியே செல்லும். இப்புள்ளிகளை மிக நெருக்கமாக அமைப்பதன் மூலம், துப்பாக்கிக் குண்டு செல்லும் பாதையையும் மிகத் துல்லியமாக அமைக்க முடியும்.

ஆரம்பத் திசைவேகமாகிய v_0 கிடைமட்டத்திலிருந்து ஒரு கோணத்தில் அமைந்திருக்கும் போது, ஒரு பொருளின் எறிபாதை அமைக்கப்படும் விதம் படம் 16ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

முதலாவதாக v_0 எனும் திசைக் கோடானது அதன் நிலைக்குத்து மற்றும் கிடைமட்டக் கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட வேண்டும். t விநாடிகளில் துப்பாக்கிக் குண்டு கிடைமட்டத்தில் கடக்கும் தூரமாகிய $v_{கிடை} \cdot t$ —ஐக் கிடைமட்டக் கோட்டின் மீது நாம் குறித்துக் கொள்வோம்.

ஆனால் குண்டு உடனிகழ்வாக மேல் நோக்கிய இயக்கம் ஒன்றிலும் ஈடுபடுகிறது. t விநாடிகளுக்குப் பின்னர்,



படம் 16

பொருளானது $h = v_{\text{நிலை}} t - \frac{gt^2}{2}$ என்னும் உயரத்துக்கு எழும்புகிறது. இச்சூத்திரத்தின் மூலம், நாம் விரும்புகிற நேரங்களை இதில் மாற்றீடு செய்துச் செங்குத்துத் திசை இடப்பெயர்ச்சிகளை நாம் கணக்கிட்டு அவற்றைச் செங்குத்து அச்சின் மேல் குறித்துக் கொள்வோம். hன் மதிப்பு முதலில் அதிகரித்துப் பின்னர் குறைகிறது.

முந்தைய உதாரணத்தில் செய்தது போலவே எறிபாதையின் புள்ளிகளைச் சார்புக்கோட்டுப் படத்தில் குறித்து அவற்றின் வழியே செல்லும் ஒரு அலையாடாத வளைகோடு ஒன்றை நாம் வரைய வேண்டும்.

துப்பாக்கிக் குழல் கிடை மட்டத்தில் வைக்கப்பட்டிருந்தால், துப்பாக்கிக் குண்டு சீக்கிரமே பூமியில் ஒரு வளையைத் தோண்டி அதனுள் சென்று மறைந்துவிடும். துப்பாக்கிக் குழல் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டிருந்தால், குண்டு விடுபட்ட இடத்திலேயே வந்து விழும். ஆகவே குண்டு கூடிய மட்டும் நெடுந்தூரம் செல்ல வேண்டுமாயின், துப்பாக்கிக் குழலைக் கிடைமட்டத்திலிருந்து ஒரு கோணத்தில் இருக்குமாறு அமைத்தல் வேண்டும். ஆனால் இக் கோணத்

தின் அளவு என்ன? என்பதைப் பற்றி நாம் இன்னும் முடிவு செய்ய வேண்டியிருக்கிறது.

நிலைக்குத்துத் திசையுளியை v_1 க்குச் சமமாகவும், கிடைமட்டத் திசையுளியை v_2க்குச் சமமாகவும் இருக்கும் படி ஆரம்பத் திசைவேகத்திசையுளியை அதன் இரு கூறு களாகப் பிரிக்கும் பழைய உத்தியையே நாம் மறுபடியும் கையாள்வோம். குண்டு சுடப்பட்ட தருணத்திற்கும் அது அதன் எறிபாதையின் உச்சியை அடையும் தருணத்திற்கும் இடைப்பட்ட நேரம் $\frac{v_1}{g}$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இதற்குச் சமமான நேர இடைவெளியின் போது குண்டு கீழ் நோக்கி விழுந்து கொண்டிருக்கும் என்பதை நாம் கவனித்தில் கொள்ள வேண்டும். அதாவது துப்பாக்கிக் குண்டு பூமி யைத் தொடும் வரையிலும், அதன் முழுப் பயண நேரம் $\frac{2v_1}{g}$ ஆகும்.

கிடைமட்ட இயக்கம் சீரானதாக இருப்பதால், பய ணத்தின் நெடுக்கமாகிய s கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக் கப்படுகிறது (பூமி மட்டத்துக்கு மேல் அமைந்திருக்கிற துப்பாக்கிக் குழலின் உயரத்தை நாம் கணக்கீட்டில் சேர்த் துக் கொள்ளவில்லை)

$$s=\frac{2v_1v_2}{g}.$$

பயணத்தின் தூரம் திசைவேகத்தின் ஆக்கக் கூறுகளின் பெருக்கற்பலனுக்கு நேர்விகிதத்தில் சமமாக இருக்கிறது என்பதைக் காட்டும் ஒரு சூத்திரத்தை நாம் பெற்றிருக் கிறோம். ஆனல் எந்தக் குறிப்பிட்ட திசையில் சுட் டால், இப்பெருக்கற்பலன் பெருமமாக இருக்கும் என்ற கேள்விக்கு நாம் பதில் காண வேண்டும். வடிவியல் முறையில் இக்கேள்வியைத் தெளிவாகத் தெரிவிக்கலாம்.

v_1 மற்றும் v_2 என்னும் திசைவேகங்கள் ஒரு திசைவேகச் செவ்வகத்தின் இரு பக்கங்களாக அமைகின்றன. இதன் மூலைவிட்டம் விளைவுத் திசைவேகமாகிய vஐக் குறிக்கிறது. இச்செவ்வகத்தின் பரப்பளவு $v_1 v_2$ என்னும் பெருக்குத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

இவ்விளக்கத்திற்குப் பின்னர், நம் கேள்வி கீழ்வரும் வடிவத்தைப் பெறுகிறது. மூலைவிட்டத்தின் நீளம் குறிப்பிட்டுச் சொல்லப்பட்டிருக்கும் பொழுது, அம்மூலைவிட்டத்தையுடைய செவ்வகத்தின் பரப்பளவு பெருமமாக இருக்க வேண்டுமானால், அதன் பக்கங்களை எவ்வாறு தெரிவு செய்ய வேண்டும்? செவ்வகத்தின் இரு பக்கங்களும் சமமாக இருக்கும் பொழுது மட்டுமே இந்நிபந்தனை பூர்த்தியடைகிறது என்பது வடிவியலில் நிரூபிக்கப்பட்ட ஒன்றாகும். $v_1 = v_2$ ஆக இருக்கும் பொழுது அதாவது திசைவேகச் செவ்வகமானது ஒரு சதுரமாக மாறுதலடையும் பொழுது மட்டுமே, ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டின் பயண நெடுக்கம் பெருமமாயிருக்கிறது. திசைவேகச் சதுரத்தின் மூலைவிட்டமானது கிடைமட்டத்திலிருந்து $45°$—யில் அமைந்திருக்கிறது. துப்பாக்கிக் குண்டு கூடிய மட்டும் நெடுந்தூரத்துக்குச் செல்ல வேண்டுமாயின் சரியாக இக்கோணத்தில்தான் துப்பாக்கி வைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும்.

சதுரத்தின் பக்கங்கள் சமமாயிருந்தால், $v_1 = v_2 = \frac{v}{\sqrt{2}}$ என்பது துப்பாக்கிக் குண்டின் விளைவுத் திசைவேகத்தைக் குறிக்கிறது. பெரிதும் உகந்த இச்சூழ்நிலையில் பயணத்தின் தூரத்தின் சூத்திரம் கீழ்வருமாறு அமைகிறது. $s = \frac{v^2}{g}$ அதாவது தூரமானது, அதே ஆரம்பத் திசைவேகத்துடன் செங்குத்தாகச் சுடப்பட்ட துப்பாக்கிக் குண்டு அடையும் பெரும் உயரத்தைப் போன்று இரு மடங்காயிருக்கிறது.

45° கோணத்தில் சாய்வாகச் சுடப்பட்ட ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டு அடையும் பெரும் உயரமானது $h = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v^2}{4g}$ ஆகும். அதாவது தூரத்தின் நான்கில் ஒரு பங்காயிருக்கிறது.

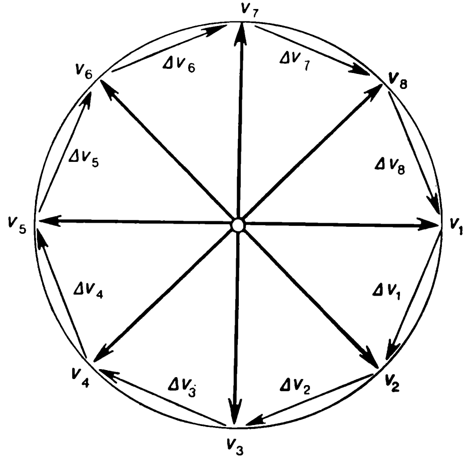
நடைமுறைக்கு அப்பாற்பட்ட சூழ்நிலையாகிய, காற்று இல்லாதிருக்கும் பொழுது மட்டுமே நாம் இதுவரை உபயோகித்து வந்த சூத்திரங்கள் யாவும் துல்லியமான முடிவுகளைத் தரும் என்பது நாம் ஒத்துக் கொள்ளக் கூடிய ஒன்றே! பல நிகழ்ச்சிகளில் காற்றுத் தடை மிக முக்கிய பங்கெடுத்து, முழு நிகழ்ச்சியையும் அடிப்படையிலேயே மாற்றி விடுகிறது.

வட்ட இயக்கம்

ஒரு புள்ளி ஒரு வட்டத்தைச் சுற்றி இயங்கும் பொழுது, அதன் திசைவேகத்தின் திசை முழு நேரமும் மாறிக் கொண்டேயிருப்பதால், இவ்வியக்கம் முடுக்கப்படுகிறது. வேகம் மாறுமலிருக்கும் நிகழ்ச்சிகளில் மட்டும் நாம் கவனத்தைச் செலுத்துவோம்.

அடுத்தடுத்த நேர இடைவெளிகளில் ஒரு புள்ளியின் திசைவேகத் திசையுளிகளை, ஒரே ஆரம்பப் புள்ளியைக் கொண்டிருக்கும்படியாக நாம் வரைவோம். (இப்படிச் செய்வதற்கு நமக்கு உரிமை உண்டு). ஒரு திசைவேகத் திசையுளியானது, ஒரு சிறு கோண அளவு சுற்றப்பட்டால், திசைவேகத்தின் மாறுதல் ஒரு இரு சம பக்க முக்கோணத்தின் அடிப்பாகத்தால் குறிக்கப்படும் என்பது நாம் யாவரும் அறிந்ததே. பொருளின் முழுச் சுழற்சியின் போது திசைவேகத்தில் ஏற்படுகிற மாறுதல்களை நாம் குறித்துக் கொள்வோம்(படம் 17).

ஒரு முழுச் சுழற்சியின் போது ஏற்படுகிற திசைவேக மாறுதலகளின் எண் மதிப்புக்களின் கூட்டுத்தொகையானது



படம் 17

வரையப்பட்டிருக்கும் பல கோணத்தின் பக்கங்களின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஒவ்வொரு சிறு முக்கோணத்தை அமைக்கும் பொழுதும் திசைவேகத் திசையுளியானது தொடர்ச்சியாக மாறுகிறது என்று மறைமுகமாக தற்கோள் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. ஆனால் உண்மையில் திசையுளியின் திசை தொடர்ச்சியாக மாறிக் கொண்டிருக்கிறது. சிறு முக்கோணங்களின் உச்சிக் கோணங்களைச் சிறியதாக எடுத்தால், இதனால் ஏற்படுகிற பிழையும் சிறியதாக இருக்கும். நாம் அமைத்திருக்கும் பல கோணத்தின் பக்கங்களைச் சிறியனவாக எடுத்துக் கொள்வதைப் பொறுத்து, அப்பல கோணம், v ஐ ஆரமாகக் கொண்ட ஒரு வட்டத்துடன் நன்கு பொருந்துகிறது. இதன் விளைவாக, புள்ளியின் முழுச் சுழற்சியின் போது ஏற்படுகிற திசைவேக மாறுதல்களின் எண் மதிப்புகளின் கூட்டுத் தொகையின் சரியான மதிப்பு, வட்டத்தின் சுற்றளவாகிய $2\pi v$க்குச் சமமாயிருக்கிறது என்பது இதனின்றும் தெரிய

வருகிறது. இச்சுற்றளவை ஒரு முழுச் சுழற்சியின் நேரமாகிய T ஆல் வகுத்து முடுக்கத்தின் எண் மதிப்புக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

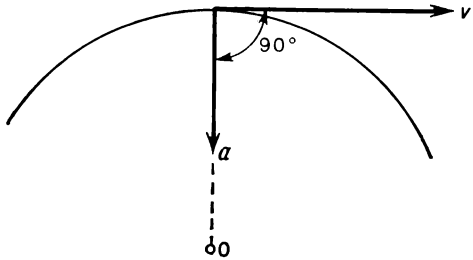
ஆகவே ஒரு வட்டத்தைச் சுற்றிய சீரான இயக்கத்தின் போது, முடுக்கத்தின் எண் மதிப்பானது கீழ்வரும் சூத்திரத்தால் பெறப்படுகிறது: $a = \frac{2\pi v}{T}$

ஆனல் R ஐ ஆரமாகக் கொண்ட ஒரு வட்டத்தைச் சுற்றிய இயக்கத்தின் முழுச் சுழற்சி நேரம் $T = \frac{2\pi R}{v}$ எனும் வடிவில் குறிக்கப்படலாம். இச்சமன்பாட்டை இதற்கு முந்திய சூத்திரத்தில் மாற்றீடு செய்வதன் மூலம் முடுக்கத்துக்கான கீழ்வரும் சூத்திரத்தைப் பெறுகிறேம்: $a = \frac{v^2}{R}$.

சுழற்சியின் ஆரம் மாருமலிருக்கையில் முடுக்கமானது ஆரத்திற்குத் தலை கீழ் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

ஒரு வட்ட இயக்கத்தின் ஒவ்வொரு தருணத்திலும் முடுக்கம் எத்திசையை நோக்கியிருக்கிறது? என்பதை இதே விவாதங்கள் நமக்குக் காட்டுகின்றன. நமது நிரூபணத்தில் உபயோகித்த இரு சம பக்க முக்கோணங்களின் உச்சிக் கோணம் சிறிதாக இருப்பதைப் பொறுத்து, திசைவேகத்துக்கும் திசைவேக அதிகரிப்புக்கும் இடையே அமைந்துள்ள கோணம் 90° க்கு அருகில் இருக்கும்.

ஆகவே சீரான ஒரு வட்ட இயக்கத்தின் போது முடுக்கமானது திசைவேகத்துக்குச் செங்குத்தான திசையை நோக்கியிருக்கிறது. ஆனல் திசைவேகமும், முடுக்கமும் எறிபாதைக்குச் சார்பாக எப்படி நோக்கியிருக்கிறது. ஆனல் திசைவேகம் பாதையின் தொடுகோடாக அமைந்திருக்கிறபடியால் முடுக்கமானது வட்டத்தின் மையத்தை நோக்கிய ஆரத்தின் திசையில் அமைந்திருக்கிறது. இவற்றிற்கிடை



படம் 18

யேயான சம்பந்தங்கள் படம் 18ல் தெளிவாகக் காட்டப்பட்டிருக்கிறன.

ஒரு கயிற்றுடன் கட்டப்பட்ட கல்லைச் சுழலச் செய்ய முயலவும். இப்படிச் செய்வதற்கு நமது தசைப் பலத்தைப் பயன்படுத்த வேண்டியதன் தேவையை நாம் உணரலாம். ஆனால் இதைச் செய்வதற்கு விசை ஏன் அவசியமாகிறது? என்ற வினா எழலாம். இவ்வியக்கத்தில் பொருள் சீராக இயங்கவில்லையா? ஆம். அது சீராக இயங்கவில்லை என்பது தான் இவற்றிற்கெல்லாம் மூலக்காரணமாகும். பொருள் மாறாத வேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறது; ஆனால் திசைவேகத்தின் தொடர்ச்சியான திசை மாற்றமானது இவ்வியக்கத்தை முடுக்கமுடைய ஒன்றாகச் செய்கிறது. சடத்துவ நேர்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து ஒரு பொருளை விலக்குவதற்கு விசை அவசியமாயிருக்கிறது. நாம் சற்று முன்னர் கணக்கிட்ட $\frac{v^2}{R}$ எனும் முடுக்கத்தை உண்டாக்குவதற்கு விசை அவசியமாயிருக்கிறது.

நியூட்டன் விதியின்படி முடுக்கத்தின் திசையிலேயே விசையும் செயல்படுகிறது. ஆகவே மாறாத வேகத்துடன் ஒரு வட்டத்தைச்சுற்றி வருகிறஒரு பொருளானது அவ்வட்டத்தின் ஆரத்தின் வழியே மையத்தை நோக்கிய ஒரு விசையின் செயற்பாட்டுக்கு இலக்காகிறது. கல் மீது செயல்படுகிற,

கயிற்ருல் செலுத்தப்படுகிற விசை $\frac{v^2}{R}$ என்னும் முடுக்கத் தைத் தருகிறது. ஆகவே இவ்விசையின் எண் மதிப்பு $\frac{mv^2}{R}$ ஆகும்.

கயிறு கல்லே இழுக்கிறது. உடனிகழ்வாக கல் கயிற்றை இழுக்கிறது. இவ்விரு விசைகளிலும், விணே, எதிர்விணே ஆகிய வற்றின் விசைகளாகிய ஒரு பொருளேயும், அதன் ஆடி நிழ லேயும் (mirror image) நாம் அடையாளம் காண்கிருேம். கயிற்றின் மீது கல் செலுத்துகிற விசை சாதாரணமாக மையவிலக்கு விசை (centrifugal force) என அழைக்கப் படுகிறது. மையவிலக்கு விசையின் எண் மதிப்பு $\frac{mv^2}{R}$க்குச் சமமாக இருக்கிறது. அது வட்ட மையத்திலிருந்தும் ஆரத் தின் வழியே வெளி நோக்கிச் செயல்படுகிறது. சுழன்று கொண்டிருக்கும் ஒரு பொருளே நேர்கோட்டுப் பாதையில் இயங்கச் செய்ய முயற்சிக்கும் அப்பொருளின் சடத்துவத் தன்மையை நடு நிலேப்படுத்துகிற பொருளின் மேல் மைய விலக்கு விசை செயல்படுகிறது.

''கயிற்றின்'' வேலேயை ஈர்ப்பு விசை ஏற்றுக் கொண்ட சூழ்நிலேயிலும்கூட நாம் முன்னர் கூறியவையாவும் இங்கும் பொருந்துகின்றன. சந்திரன் பூமியைச் சுற்றுகிறது. நமது துணேக்கோளே அதன் சுற்றுப்பாதையில் நிலேத்திருக்கச் செய்வது எது? சடத்துவ விதியைப் பின்பற்றி, அது கோள் களுக்கிடைப்பட்ட வெளியில் ஏன் ஒரு பயணத்தை மேற் கொள்ளாதிருக்கிறது. ஈர்ப்பு விசை என்னும் ''கண்ணுக்குப் புலனுகாத கயிறு'' ஒன்றினுல் சந்திரன் பூமியுடன் பிணேக்கப் பட்டிருக்கிறது. இவ்விசை $\frac{mv^2}{R}$க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இங்கு v என்பது சந்திரனின் சுற்றுப் பாதையில் இயக்கத் தின் வேகம் ஆகும். R என்பது பூமியிலிருந்து சந்திரன் அமைந்திருக்கும் தூரத்தைக் குறிக்கிறது. இந்த உதாரணத்

தில் மையவிலக்கு விசையானது பூமியின் மீது செயல்படுகிறது. ஆனால் பூமியின் மிக அதிகமான பொருண்மையினால், நமது கோளின் இயக்க இயல்பை இது மிகச் சிறியளவே பாதிக்கிறது.

பூமியின் மேற்பரப்பிலிருந்து 300 கி.மீ தூரத்தில் ஒரு வட்டச் சுற்றுப் பாதைக்குப் பூமியின் துணைக்கோள் ஒன்றை அனுப்ப வேண்டியிருக்கிறது என வைத்துக் கொள்வோம். இத்தகைய துணைக்கோளின் வேகம் எவ்வாறு இருக்க வேண்டும் என்பதை நாம் கணக்கிட வேண்டும். 300 கி.மீ தூரத்தில் ஈர்ப்பு முடுக்கமானது, பூமியின் மேற்பரப்பில் இருப்பதைவிடச் சற்றுக் குறைவாகவே இருக்கிறது. இதன் மதிப்பு 8.9 மீ/வினாடி^{2} ஆகும். ஒரு வட்டப் பாதையில் இயங்குகிற ஒரு துணைக்கோளின் முடுக்கம் $\frac{v^2}{R}$க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இங்கு R என்பது வட்ட மையத்திலிருந்து (பூமியின் மையத்திலிருந்து) துணைக்கோள் அமைந்திருக்கும் தூரத்தைக் குறிக்கிறது. இத்தூரம் ஏறக்குறைய 6600 கி.மீ $= 6.6 \times 106$ மீ ஆகும். மறுபக்கத்தில் நோக்கினால், இம்முடுக்கமானது g என்னும் ஈர்ப்பு முடுக்கத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இதன் விளைவாக $g = \frac{v^2}{R}$; இச்சமன்பாட்டிலிருந்தும் சுற்றுப் பாதையில் துணைக்கோளின் இயக்கத்தின் வேகத்தை நாம் கண்டுபிடிக்கிறோம்.

$$v = \sqrt{gR} = \sqrt{8.9 \times 6.6 \times 10^6} = 7\,700 \text{ மீ/வினாடி} = 7.7 \text{ கி.மீ/வினாடி}$$

கிடைமட்டத்தில் முன்னோக்கிச் செலுத்தப்படுகிற ஒரு பொருள் பூமியின் துணைக்கோளாவதற்குத் தேவையான குறைந்த பட்ச வேகம் சுற்றுப் பாதைத் திசைவேகம் (orbital velocity) என அழைக்கப்படுகிறது. இவ்வேகம் ஏறக்குறைய 8 கி.மீ/வினாடி ஆக இருக்கிறது என்பது நாம் மேலே கண்ட உதாரணத்திலிருந்தும் தெரிய வருகிறது.

மூன்று

"பகுத்தறிவுக்கு ஒவ்வாத" நோக்கு நிலையில் இயக்கம்

இணைமாற்றுத் தத்துவம்

இதற்கு முந்திய அத்தியாயத்தில் இயக்கத்தைப் பற்றிய ''நியாயமான நோக்கு நிலையை'' நாம் பார்த்தது உண்மையே! சடத்துவச் சட்டங்கள் என நாம் அழைத்த ''நியாயமான'' நோக்கு நிலைகளின் எண்ணிக்கை எண்ணிலடங்காதவைகளாயிருக்கின்றன.

இயக்க விதிகளைப் பற்றிய அறிவால் பலம் பெற்றிருக்கும் நாம் இப்பொழுது ''பகுத்தறிவுக்கு ஒவ்வாத'' நோக்கு நிலைகளில் இயக்கம் எவ்வாறு தோன்றுகிறது என்பதை அறிவதில் அக்கறை கொண்டிருக்கிறோம். சடத்துவமற்ற சட்டங்களில் தங்கியிருக்கும் மக்கள் எவ்வாறு வாழ்கிறார்கள் என்பதைப் பற்றி அறிந்து கொள்ள முயற்சித்தல் ஒரு பயனற்ற செயலன்று. ஏனெனில் நாமே அத்தகைய தொரு அமைப்பில்தான் வாழ்ந்து கொண்டிருக்கிறோம்.

நாம் நமது அளவைக் கருவிகளை எடுத்துக் கொண்டு கோள்களுக்கிடையே அமைந்திருக்கும் ஒரு விண்கலத்தில் குடியேறிய பின்னர் அங்கிருந்து நட்சத்திர உலகில் பயணம் செய்வதாகக் கற்பனை செய்வோமாக.

காலம் விரைந்து செல்கிறது. சூரியன் ஒரு சிறு விண்மீனைப் போன்று காட்சி அளிக்கிறது. விண்கலத்தின் இயந்

திரம் நிறுத்தப்பட்டுவிட்டது. விண்கலமானது ஈர்ப்புப் பொருள்களிலிருந்தும் வெகு தூரத்தில் இருக்கிறது.

பறந்து கொண்டிருக்கும் நமது ஆய்வகத்தில் (laboratory) என்னென்ன நிகழ்ந்து கொண்டிருக்கிறது என்பதைப் பார்ப்போம். தொங்கவிடப்பட்டிருந்த ஒரு வெப்பமானி ஆணியிலிருந்து வழுக்கி விழுந்தால், தரையில் விழாமல் காற்றில் மிதப்பது ஏன்? சுவரில் தொங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஒரு ஊசலியானது நிலைக்குத்துத் திசையிலிருந்தும் விலகி ஒரு விநோதமான நிலையில் தடைப்பட்டு நிற்கிறவே ஏன்? கப்பல் பூமியின் மேல் இல்லாமல் கோள்களுக்கிடையேயான விண்வெளியில் இருக்கிறது, ஆகவே பொருட்கள் அவற்றின் எடைகளை இழந்திருக்கின்றன என்ற முடிவுக்கு நாம் உடனேயே வந்து விடுகிறோம்.

இவ்விநோதமான காட்சியை நம் கண்கள் கண்டு களித்த பின்னர், நமது பயண மார்க்கத்தை மாற்றுவதற்குத் தீர்மானிக்கிறோம். ஒரு பொத்தானை அழுத்தி நமது பீற்று விசை இயந்திரத்தை (jet engine) இயக்குகிறோம். உடனேயே நம்மைச் சூழ்ந்திருக்கும் பொருட்கள் யாவும் வழக்கமான நிலைகளுக்குத் திரும்புவதாகத் தோன்றுகிறது. எல்லாப் பொருட்களும் இயக்க நிலைக்குக் கொண்டு வரப் படுகின்றன. வெப்பமானி தரையில் விழுகிறது. ஊசலியானது அலைவுகளை ஏற்படுத்திப் படிப்படியாக ஓய்வு நிலையை நோக்கி வந்து நிலைக்குத்து நிலையை அடைகிறது. தன் மீது வைக்கப்பட்டிருக்கிற பயணப்பையின் எடையால் தலையணி தொய்வு கொடுக்கிறது. நமது கப்பல் முடுக்கப்படுகிற திசையைக் காட்டும் கருவிகளில் நம் பார்வையைச் செலுத்துவோம். உண்மையில் மேல் நோக்கிச் செல்வதாக இவை காட்டுகின்றன. 9.8 மீ/விஞடி^{2} என்ற முடுக்கத்துடன் கூடிய இயக்கத்தை நாம் தெரிந்தெடுப்பதாகக் கருவிகள் காட்டுகின்றன. நம் கப்பலால் சாத்தியமாகும் முடுக்கத்தை எண்

ணிப் பார்க்கும் பொழுது இம்முடுக்கம் மிக அதிகமானது என்று சொல்ல முடியாது. நம் உணர்ச்சிகள் மிகச் சாதாரணமாயிருக்கின்றன. பூமியில் இருப்பது போன்ற உணர்ச்சியை நாம் கொண்டிருக்கிறேம். ஆனல் இப்பொழுது மட்டும் ஏன் இது போன்று நிகழ்கிறது? முன்னர் குறிப்பிட்டது போலவே இப்பொழுதும் ஈர்ப்புப் பொருள்களிலிருந்தும் நாம் கற்பனைக்கு எட்டாத வெகு தூரத்தில் இருக்கிறேம். இங்கும் ஈர்ப்பு விசை இல்லை. ஆயினும் பொருட்கள் எடையைப் பெற்றிருக்கின்றன.

ஒரு கோலிக் குண்டை மேலிருந்து கீழ்நோக்கி விழச் செய்வோம். அது எவ்வளவு முடுக்கத்துடன் விண்கலத்தின் தரையை நோக்கி விழுகிறது என்பதை அளப்போம். இம் முடுக்கம் 9.8 மீ/விஞடி^{2}க்குச் சமமாயிருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. ராக்கெட்டின் முடுக்கத்தை அளவிடும் கருவிகளிலிருந்தும் இதே எண்ணை நாம் சற்று முன்னர் குறித்த ஞாபகம் இருக்கலாம். பறந்து கொண்டிருக்கும் நம் ஆய்வகத்தில் உள்ள பொருட்கள் கீழ் நோக்கி விழுகிற அதே முடுக்கத்துடன்தான் விண்கலமும் மேல் நோக்கி எழும்புகிறது.

ஆனல் பறந்து கொண்டிருக்கும் ஒரு கப்பலில் ''மேலே'' ''கீழே'' என்பதன் அர்த்தம் என்ன? என்பதை நாம் கவனிக்க வேண்டும். நாம் பூமியில் இருக்கும் பொழுது எல்லா நிகழ்ச்சிகளும் எளிதில் புரிந்து கொள்ளக் கூடியனவாய் இருந்தன. பூமியில் இருக்கும் பொழுது வானம் மேலேயும் பூமி கீழேயும் இருந்தன. இங்கு விண்கலத்தில் நிலைமை என்னவாயிருக்கும், இங்கு ''மேலே'' என்பது ராக்கெட்டின் முடுக்கத்தின் திசையே ஆகும் என்பது சந்தேகத்திற்கு இடமில்லாத ஒன்ருகும்.

நம் காட்சிப்பதிவுகளின் அர்த்தத்தைப் புரிந்து கொள்ளுதல் கடினமான ஒன்றல்ல. நாம் கீழ் நோக்கி விழச் செய்த

கோலிக் குண்டின் மீது எவ்வித விசைகளும் செயல்பட வில்லை. அது சடத்துவத்தின் விளைவாலேயே இயங்கிகுறது. கோலிக் குண்டுச் சார்பான முடுக்கத்துடன் ராக்கெட் தான் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறது. ஆனுல் ராக்கெட்டின் உள்ளிருக்கும் நமக்கோ ராக்கெட்டின் முடுக்கத்துக்கு எதிர்த்திசையில் கோலிக் குண்டு விழுந்து கொண்டிருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. இயல்பாகவே ''இவ்வீழ்ச்சியின்'' முடுக்கமானது ராக்கெட்டின் உண்மையான முடுக்கத்திற்கு எண் மதிப்பில் சமமாயிருக்கிறது. ராக்கெட் டினுள்ளிருக்கும் எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே முடுக்கத்துடன் விழும் என்பதும் தெளிவே!

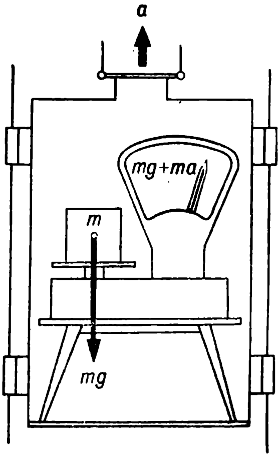
மேலே சொல்லப்பட்டவைகளிலிருந்தும் நாம் ஒரு முக்கியமான முடிவை ஊகித்துணரலாம். ராக்கெட்டின் இயக்கம் முடுக்கப்படும் பொழுது பொருட்கள் ''எடைகளைப் பெறத்'' தொடங்குகின்றன. மேலும் ''ஈர்ப்பு விசையானது'' ராக்கெட்டின் முடுக்கத்தின் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் செயல்படுகிறது. ''சுய வீழ்ச்சியின்'' முடுக்கமானது விண்கலத்தின் முடுக்கத்திற்கு எண் மதிப்பில் சமமாயிருக்கிறது. நடைமுறையில் சட்டத்தின் முடுக்கப்பட்ட இயக்கத்தை அதனை ஒத்த ஈர்ப்பு விசையினின்றும் நம்மால் வேறுபடுத்திக் காட்ட இயலாது என்ற உண்மை மிக முக்கியமான ஒன்ருகும்.* ஈர்ப்பு விசையின் செயற்பாட்டிலிருந்தும்

---

* நடைமுறையில் மட்டுமே! கொள்கை ரீதியில் வேறுபாடு இருக்கிறது. பூமியின் மேல் செயல்படுகிற ஈர்ப்பு விசைகள், பூமியின் ஆரங்கள் வழியே அதன் மையத்தை நோக்கிச் செயல்படுகின்றன. வித்தியாசமான இரு இடங்களில் செயல்படுகிற முடுக்கங்களின் திசைகள் ஒரு கோணத்தை உள்ளடக்குகின்றன என்பதுதான் இதன் அர்த்தமாகும். ஒரு முடுக்கத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஒரு ராக்கெட்டில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் எடைகள் செயல்படும் திசைகள் முற்றிலும் இணையாயிருக்கிறன. பூமியின் மேல், உயரத்

வேறுபடுத்திக் காட்ட இயலாத இத்தன்மையே இயற்பியல் இணை மாற்றுத் தத்துவம் (Equivalence principle) என அழைக்கப்படுகிறது.

முடுக்கப்படுகின்ற குறிப்புச் சட்டத்தில் காணப்பெறுகிறமாய ஈர்ப்பு விசையை உண்மையான விசைகளுடன் கூட்டுவதன் மூலம் பல பிரச்சினைகளுக்குத் திர்வு காண்பதற்கு இத்தத்துவம் நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது என்பது கீழ்வரும் தொடர் உதாரணங்களிலிருந்தும் தெரிய் வருகிறது.



படம் 19

ஏற்ற இறக்கத் தட்டு (elevator) முதல் உதாரணமாகப் பயன்படுகிறது. ஒரு வில் தராசு, அதற்கு வேண்டிய எடைகள் ஆகியவற்றை எடுத்துக் கொண்டு ஏற்ற இறக்கத் தட்டில் மேல் நோக்கிச் செல்வோம். தராசுத்தட்டின் மீது 1 கி.கி எடையை வைத்த பின்னர் தராசு முள்ளின் அசைவை நாம் தொடர்ந்து கவனிப்போம் (படம் 19). ஏற்ற இறக்கத் தட்டு மேல் நோக்கிச் செல்ல ஆரம்பிக்கிறது. எடை ஒரு கிலோகிராமைவிட அதிக எடையைக் கொண்டிருப்பது போன்று, அளவு கோலில் காட்சிப்பதிவு அதிகப்படுவதை நாம் பார்க்கிறோம். இவ்வுண்மையை இணை மாற்றுத் தத்துவம் மிக எளிய காரணங்களுடன் விளக்கு

...ப் பொறுத்து முடுக்கமும் மாறுகிறது. முடுக்கப்படுகிற ...ரு ராக்கெட்டில் இவ்விளைவு ஏற்படுவதில்லை.

கிறது. ஏற்ற இறக்கத் தட்டானது a என்னும் முடுக்கத் துடன் மேல் நோக்கிச் செல்லும் பொழுது கீழ் நோக்கிய கூடுதல் ஈர்ப்பு விசை ஒன்று தோன்றுகிறது. இவ்விசையின் முடுக்கமானது aக்குச் சமமாயிருப்பதால், கூடுதல் எடை யானது maக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆகவேதான் தராசு $mg+ma$ என்னும் எடையைக் காட்டுகிறது. ஏற்ற இறக்கத் தட்டின் முடுக்கம் நின்று விட்டது. அது சீரான இயக்கத்து டன் சென்று கொண்டிருக்கிறது. இப்பொழுது தராசு அதன் பழைய நிலைக்குத் திரும்புகிறது. அது 1 கி.கி.வி என்னும் எடையைக் காட்டுகிறது. நாம் மேல் தளத்தை நெருங்கிக் கொண்டிருக்கிறோம். ஏற்ற இயக்கத் தட்டின் இயக்க வேகம் குறையத் தொடங்குகிறது. இப்பொழுது வில் தராசில் என்ன மாறுதல் நிகழ்கிறது? உண்மையில் பளுவானது இப்பொழுது ஒரு கிலோகிராமைவிடக் குறை வான எடையைக் கொண்டிருக்கிறது. இயக்க வேகம் குறையத் தொடங்கும் பொழுது முடுக்கத் திசையுளி கீழ் நோக்கியதாய் இருக்கிறது. ஆகவே கூடுதல் மாய ஈர்ப்பு விசையானது, பூமியின் ஈர்ப்புத் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் மேல் நோக்கியதாய் இருக்கிறது. இப்பொழுது a எதிர்ம றையாய் இருக்கிறது. ஆகவே தராசு mg ஐவிடக் குறை வான ஒரு அளவைக் காட்டுகிறது. ஏற்ற இறக்கத் தட்டு ஓய்வு நிலைக்கு வந்த பின்னர் தராசு அதன் ஆரம்ப நிலைக் குத் திரும்புகிறது. இப்பொழுது நாம் ஏற்ற இறக்கத் தட் டுடன் கீழ் நோக்கிச் செல்ல ஆரம்பிக்கிறோம் என்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். ஏற்ற இறக்கத் தட்டின் இயக்கம் வேகத்தில் அதிகரிக்கிறது. முடுக்கத் திசையுளி கீழ் நோக் கியதாய் இருக்கிறது. ஆகவே கூடுதல் ஈர்ப்பு விசை மேல் நோக்கியதாய் இருக்கிறது. பளு இப்பொழுது 1 கிலோ கிராமைக் காட்டிலும் குறைவான எடையைக் காட்டுகி றது. இயக்கம் சீரானதும் கூடுதல் எடை மறைகிறது. ஏற்ற

இறக்கத் தட்டில் நாம் மேற்கொண்ட பயணத்தின் முடிவில், கீழ் நோக்கிய இயக்கம் எதிர் முடுக்கத்தைப் பெற்றிருக்கும் பொழுது பளு ஒரு கிலோகிராமைவிட அதிகமான எடையைக் காட்டுகிறது.

மிக வேகமாக முடுக்கப்படுகிற அல்லது எதிர் முடுக்கம் பெறுகிற ஏற்ற இறக்கத் தட்டில் அநுபவிக்கும் வெறுப்பான உணர்ச்சிகளையாவும் நாம் இதுவரையிலும் பரிசீலித்த எடை மாறுதல்களுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கின்றன.

ஒரு ஏற்ற இறக்கத் தட்டானது முடுக்கத்துடன் கீழிறங்கும் போது அதனுள் இருக்கும் பொருட்கள் எடை குறைந்தவையாகத் தோன்றுகின்றன. இம்முடுக்கம் அதிகமாக அதிகமாக எடையிழப்பும் அதிகமாகிறது. ஆனால் ஒரு குறிப்புச் சட்டம் சுயமாக விழும் போது என்ன நிகழ்கிறது? இப்பொழுது பொருட்கள் தராசுத் தட்டைக் கீழ் நோக்கி அழுத்துவதில்லை. அதாவது பொருட்களுக்கு எடை இருப்பதில்லை. இத்தகைய சுயமாக விழும் ஒரு குறிப்புச் சட்டத்தில் ஏற்படுகிற கூடுதல் ஈர்ப்பு விசையால் பூமியின் ஈரப்பு சரியீடு செய்யப்படுகிறது. இத்தகையதொரு ஏற்ற இறக்கத் தட்டினுள் இருக்கும் பொழுது ஒரு டன் எடையுள்ள பளுவை நமது தோளில் எவ்விதக் கடினமுமின்றித் தாங்கிக் கொள்ள முடிகிறது.

ஈர்ப்பு மண்டலத்திலிருந்தும் விடுபட்டுச் சென்ற விண்வெளிக் கப்பலில் அமைந்திருக்கிற எடையில்லாத வாழ்க்கையைப் பற்றி இப்பகுதியின் தொடக்கத்தில் நாம் விவரித்தோம். இத்தகையதொரு விண்கலம் சீரான நேர்கோட்டியக்கத்தை மேற்கொள்ளும் போதும் அதனுள் இருக்கும் பொருட்கள் எடையைக் கொண்டிருப்பதில்லை. ஒரு சட்டத்தின் சுய வீழ்ச்சியின் போதும் இதே நிலைமை நீடிக்கிறது. ஆகவே எடையில்லாத வாழ்க்கைக்காக ஈர்ப்பு மண்டலத்திலிருந்தும் விடுபட்டுச் செல்ல வேண்டிய தேவை இல்லை.

இயந்திரம் நிறுத்தப்பட்டு இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஒவ்வொரு விண்வெளிக் கப்பலிலும் பொருட்கள் எடையற்றனவாக இருக்கின்றன. இப்படிப்பட்ட சூழ்நிலைகளில் சுய வீழ்ச்சியே எடை இழப்புக்குக் காரணமாயிருக்கிறது. ஈர்ப்பு விசையின் செயற்பாட்டிலிருந்தும் விடுபட்டுச் சீராகவும் நேர்கோட்டுப் பாதையிலும் சென்று கொண்டிருக்கிற ஒரு குறிப்புச் சட்டமானது, பெரும்பாலும் தன்னுடைய எடையின் செயற்பாட்டினுல் சுயமாக விழுந்து கொண்டிருக்கிற ஒரு குறிப்புச் சட்டத்துக்கு ஏறக்குறை முழுச்சமனியாயிருக்கிறது என்னும் முடிவை இணைமாற்றுத் தத்துவம் நமக்கு அளித்திருக்கிறது. முதல் அமைப்பில் பாருட்களுக்கு எடை இல்லே. இரண்டாவதில் ''கீழ்நோக்கிய எடையானது'' ''மேல் நோகிக்ய எடையால்'' சரியீடு செய்யப்படுகிறது. இவ்வமைப்புகளுக்கிடையேயான எவ்வித வேறுபாட்டையும் நாம் கூர்ந்து காண முடியாது.

விண்வெளிக் கப்பல் சுற்றுப்பாதைக்குத் தள்ளப்பட்டு, பின்னர் ராக்கெட்டின் உதவியின்றி இயங்கத் தொடங்கும் நேரத்தில்தான் ஒரு பூமியின் செயற்கைத் துணைக்கோளினுள் ''எடையற்ற'' வாழ்க்கை ஆரம்பமாகிறது.

லேகா என்னும் பெயருடைய நாய்தான் முதல் விண்வெளிப் பயணியாகும். வெகு சீக்கிரத்தில் விண்வெளிக் கப்பலின் அறையில் ஏற்படுகிற ''எடையற்ற'' வாழ்க்கையை ஒரு மனிதனும் அனுபவித்தான். முதன் முதலாக இதைச் செய்தவர் யூரி ககாரின் என்னும் சோவியத் விண்வெளி வீரர் ஆவார்.

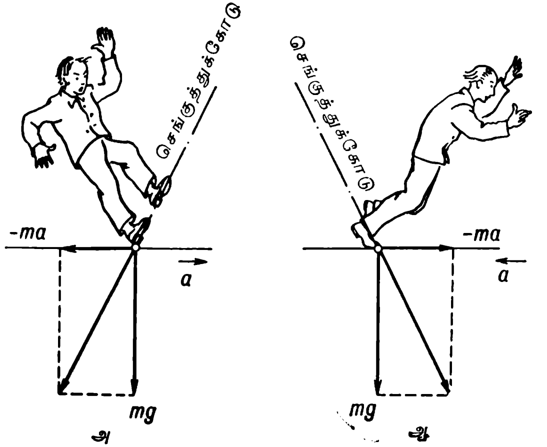
விண்வெளிக் கப்பல் அறையினுள் வாழ்க்கை சாதாரணமானது எனச் சொல்ல முடியாது. ஈர்ப்பினுல் மிக எளிதில் கட்டுப்படுத்தப்படுகிற பொருட்களேக் கீழ்ப்படியச் செய்வதற்குச் சிறந்த கண்டுபிடிப்பத் திறமும் சாமர்த்தியமும் தேவைப்படுகின்றது. உதாரணமாக ஒரு புட்டியிலுள்ள த்ண

ணீரை ஒரு கண்ணாடிக் குவளையில் ஊற்றுவது சாத்தியமாகுமா? ஏனெனில் ஈர்ப்பின் செயற்பாட்டினுல் மட்டுமே தண்ணீர் ''கீழ் நோக்கி' வடிகிறது. ஒரு கணப்படுப்பில் (stove) தண்ணீரைச் சூடாக்க முடியாது போனுல் உணவு சமைப்பது சாத்தியமாகுமா? (சூடான தண்ணீரானது குளிர்ந்த தண்ணீருடன் கலப்பதில்லை). மேசைக்கு எதிராக வரைகோலின் மீது செயல்படுத்தப்படுகிற, சிறு அழுத்தம் ஒருவரை ஒரு பக்கமாக தள்ளுவதற்குப் போதுமானதாக இருக்கையில், அவர் எப்படி ஒரு காகிதத்தில் வரைகோலால் எழுத முடியும்? எரிந்த வாயுக்கள் மேல் நோக்கிச் சென்று எரிவதற்கு வேண்டிய ஆக்சிஜன் கிடைப்பதற்கு வழியில்லாததால், ஒரு தீக்குச்சியோ, அல்லது ஒரு மெழுகுவர்த்தியோ அல்லது ஒரு வாயு விளக்கோ எரிவதில்லை. மனித அங்கங்களில் நிகழ்கிற இயற்கையான செயற்பாங்குகளின் இயல்பான போக்குகளுக்கு எவ்வாறு உத்திரவாதம் அளிப்பது என்பது பற்றி எண்ண வேண்டிய அவசியம்கூட ஏற்படுகிறது. ஏனெனில் இச்செயற்பாடுயாவும் பூமியின் ஈர்ப்புத் தன்மையுடன் சம்பந்தப்பட்டவையாயிருக்கின்றன.

முடுக்கப்படுகிற ஒரு பேருந்திலோ அல்லது சிறிய காரிலோ அமர்ந்து கொண்டு இயற்பியல் காட்சிப்பதிவு செய்வது பற்றி நாம் இங்கு காண்போம். மேற் சொன்ன உதாரணத்திலிருந்தும் இதை வேறுபடுத்திக் காட்டுவதற்குக் காரணமாக இவ்வுதாரணத்தின் தனித்தன்மை கீழ் வருவனவற்றில் அடங்கியிருக்கிறது. ஏற்ற இறக்கத் தட்டுடன் கூடிய உதாரணத்தில் கூடுதல் எடையும் பூமியின் ஈர்ப்பும் ஒரே நேர் கோட்டில் செயல்பட்டன. எதிர் முடுக்கம் பெறுகிற அல்லது முடுக்கப்படுகிற ஒரு சிறு காரில், கூடுதல் எடையானது பூமியின் ஈர்ப்புக்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படுகிறது. இது பிரயாணியிடம், வித்தியாசமான ஆனுல்

பழக்கமான ஒரு உணர்ச்சியைத் தூண்டுகிறது. காரின் வேகம் அதிகப்படும் பொழுது அதன் இயக்கத்துக்கு எதிர்த் திசையில் கூடுதல் விசை ஒன்று தோன்றுகிறது. இவ்விசையை நாம் பூமியின் ஈர்ப்பு விசையுடன் கூட்டுகிரும். காரில் இருப்பவரின் மீது செயல்படுகிற விசைகளின் தொகுபயன் இயக்கத் திசையிலிருந்தும் ஒரு விரி கோணத்தில் அமைத் திருக்கிறது. முகத்தை முன்னேக்கி வைத்துக் கொண்டு வழக் கம் போல நின்று கொண்டிருக்கும் நாம் நமக்கு ''மேல் நோக்கியவை'' நகர்ந்து விட்டதாக உணர்கிரும். விழாம லிருப்பதற்காக படம் 20 (அ)ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறபடி நாம் ''நிலேகுத்தாக'' நிற்க விரும்புகிரும். நமக்கு ''நிலே குத்துத் திசை'' என்பது சாய்ந்திருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. இது இயக்கத்தின் திசையிலிருந்தும் ஒரு குறுங்கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கிறது. ஒரு பிடியும் இல்லாமல் நின்று கொண் டிருப்பவர் பின் நோக்கி விழுவது உறுதியாகும்.

முடிவாக, காரின் இயக்கம் சீராகிறது. இப்பொழுது நாம் அசையாமல் நிற்க முடிகிறது. ஆயினும், அடுத்து கார் நிற்குமிடத்தை நாம் நெருங்கிக் கொண்டிருக்கிரும். ஓட்டுநர் வேகத் தடையை உபயோகிக்கிருர். நமது ''நிலேக்குத்துத் திசை'' இயல்பான நிலேயிலிருந்து விலகிக் கொண்டிருக்கிறது. இப்பொழுது இது இயக்க திசையிலிருந் தும் ஒரு எதிர்க் குறுங்கோணத்தில் அமைந்திருக் கிறது என்பதை படம் 20 (ஆ) லிருந்து காண முடிகிறது. விழாமலிருப்பதற்காகப் பிரயாணி பின்னேக்கிச் சாய்கிருர். ஆயினும் அவர் அதிக நேரம் இந்நிலேயில் இருக்க மாட்டார். கார் ஓய்வு நிலேயை அடைகிறது. எதிர் முடுக்கம் மறைகி றது. ''நிலேக்குத்துக் கோடு'' பழைய நிலேக்குத் திரும்புகி றது. இப்பொழுது திரும்பவும் ஒருவரின் உடலின் நிலே மாற் றப்பட வேண்டியிருக்கிறது.



படம் 20

நாம் அனுபவித்த உணர்வுகளைக் கவனிக்கவும். எதிர் முடுக்கம் ஆரம்பமான பொழுது நாம் பின்னிருந்து முன் னோக்கித் தள்ளப்பட்டதாகத் தோன்றியது (நிலைக்குத்துத் திசை நமக்குப் பின் புறத்திலிருந்தது). நாம் நம்மைச் செங்குத்தாக இருக்குமாறு நிமிர்த்திக் கொண்டோம். ஆனால் இப்பொழுது கார் ஓய்வு நிலைக்கு வந்திருக்கிறது. நிலைக்குத்துக் கோடு நமக்கு முன்னால் வருகிறது. ஆகவே நாம் நெஞ்சில் அழுத்தப்பட்டது போன்றதொரு உணர்ச் சியை அனுபவிக்கிறோம்.

ஒரு சிறு கார் வளைவுப் பாதையில் செல்லும் பொழுதும் மேற்கூறியனவற்றை ஒத்த இயற்பாடுகள் நிகழ்கின்றன. மாறாத வேகத்துடன் கூடியதாயிருப்பினும் ஒரு வட்டப் பாதையின் மீது நிகழ்கிற இயக்கமானது முடுக்கமுடைய தாயிருக்கிறது என்பது நாமறிந்ததே. கார் அதிக வேகத் துடன் சென்று, வளைவு ஆரமாகிய R ம் சிறியதாக இருந்தால்

$\frac{v^2}{R}$ எனும் முடுக்கமானது மிக அதிகமாகிறது. இத்தகைய தொரு இயக்கத்தின் முடுக்கமானது ஆரத்தின் வழியே வட்ட மையத்தை நோக்கியிருக்கிறது. ஆனுல் இது மையத்திலிருந்து வெளிநோக்கிச் செயல்படுகிற ஒரு புது விசையின் தோற்றத்துக்கு இணைமாற்ருக அமைகிறது. ஆகவே ஒரு வளைவைக் கடந்து செல்லும் பொழுது $\frac{mv^2}{R}$ என்னும் கூடுதல் விசை ஒன்று கார் பயணியின் மீது செயல்படுகிறது. இவ்விசை பயணியை வளைவின் வெளிப்பக்கமாக எறியக் கூடியதாய் இருக்கிறது. $\frac{mv^2}{R}$ என்னும் ஆரக்கால் விசையே மையவிலக்கு விசை (centrifugal force) என அழைக்கப்படுகிறது. ஏற்கனவே இவ்விசையைப் பற்றி நாம் பார்த்தது உண்மையே! ஆனுல் இதனின்றும் வேறுபட்ட ஒரு நோக்கு நிலையில் இவ்விசையே நாம் கண்டோம்.

பேருந்து அல்லது கார், வளைவில் திரும்பும் பொழுது தோன்றுகிற மையவிலக்கு விசையின் செயல் மிக இலேசான தொந்தரவையே கொடுக்கின்றது. இவ்வுதாரணங்களில் $\frac{mv^2}{R}$ என்னும் விசை மிக அதிகமாயிருப்பதில்லை. இருப்பினும் ஒரு வளைவுப் பாதையில் மேற்கொள்ளும் வேகமான இயக்கத்தின் போது, ஒருவரின் உயிருக்கே ஆபத்து விளைவிக்கக் கூடிய அளவுக்கு மையவிலக்கு விசை மிக அதிகமானதாயிருக்கலாம். ஆகாய விமானங்கள் கரணவித்தை செய்வதில் ஈடுபட்டிருக்கும் பொழுது அவற்றின் விமானிகள் மையவிலக்கு விசையாகிய $\frac{mv^2}{R}$ன் மதிப்பு மிகவும் அதிகமாயிருப்பதை உணர்கிருர்கள். ஒரு விமானம் வட்டமிட்டுக் கொண்டிருக்கும் போது மையவிலக்கு விசையானது விமானியின் மீது செயல்பட்டு அவருடைய இருக்கையுடன் அவரைச் சேர்த்துப் பிணைக்கிறது. வட்டத்தின் பரிதி குறைவ

தைப் பொறுத்து விமானியை இருக்கையுடன் பிணைக்கும் கூடுதல் விசையின் அளவு அதிகமாகிறது. இவ்விசையின் எண் மதிப்பு போதுமான அளவைவிட மிகவும் அதிகமா கும் பொழுது ஒரு மனிதன் ''பிய்க்கப்படக்கூடும்.'' ஏனெனில் மனித உடலின் திசுக்கள் வரம்புக்குட்பட்ட பலத் தையேக் கொண்டிருக்கின்றன. அகவே இது விதிக்கட்டின்றி மிக அதிக எடையைத் தாங்கிக் கொள்ள முடியாது.

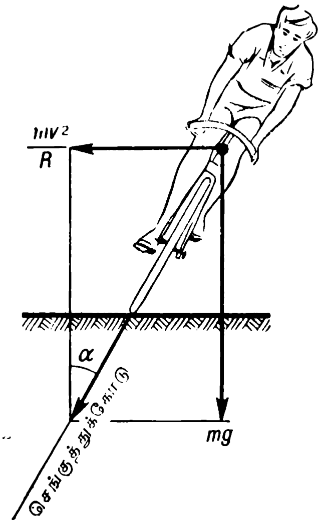
ஆனால் ஒரு மனிதன் அவனுடைய உயிருக்கு ஆபத்து விளைவிக்காமல் எவ்வளவு அதிகமான எடையைத் தாங்கிக் கொள்ள முடியும்? என்ற கேள்வி எழுவது இயல்பே! இது மட்டுமீறிய பளு (over load) நீடித்திருக்கும் காலத் தைப் பொறுத்திருக்கிறது. இம்மட்டுமீறிய பளு வினாடியில் ஒரு பகுதி நேரம் மட்டுமே நீடிக்குமானால் ஒருவன் 7—9 கிராம் அளவுள்ள மட்டுமீறிய பளுவைத் தாங்கிக் கொள் ளக்கூடியவனாய் இருக்கிறான். ஒரு விமானியோ 10 வினாடி கள் நீட்டிக்கக் கூடிய 3—5 கிராம் அளவுள்ள மட்டுமீறிய எடையைத் தாங்கிக் கொள்ள முடிகிறது. பல பத்து நிமிடங் கள் அல்லது மணிக்கணக்கில் ஒரு மனிதன் தாங்கிக் கொ கொள்ளக்கூடிய மட்டுமீறிய பளு வகையில்தான் விண்வெளி வீரர்கள் கவனம் செலுத்துகிறார்கள். இப்படிப்பட்ட சந்தர்ப் பங்களில் மட்டுமீறிய பளுவானது மிக இலேசானதாக இருத்தல் நல்லது.

விமானிக்கு எவ்வித ஆபத்தும் ஏற்படாத வகையில் வேறுபட்ட பல வேகங்களில் பறக்கும் ஒரு விமானம் சுற்றி வருகிற வட்டத்தின் ஆரத்தைக் கணக்கிடுவோம். $4g$ எனும் சராசரி எண் தொகையை எடுத்துக் கொள்வோம். இதுவே முடுக்கத்தின் எண் மதிப்பாயிருக்கிறது. அதா வது $\frac{v^2}{R} = 4g$; ஆகவே $R = \frac{v^2}{4g}$ ஆகும். 360 கி.மீ/மணி=100 மீ/வினாடி என்னும் வேகத்தின் போது வட்டத்தின் ஆரம் 250 மீட்டராகும். ஆனால் வேகம் 4 மடங்காக அதிகரிக்

கும் போது அதாவது 1440 கி.மீ/மணி ஆக மாறும் பொழுது (நவீன ஜெட் விமானங்கள் ஏற்கனவே இவ்வேகங்களை எல்லாம் மிஞ்சி விட்டன) வட்டத்தின் ஆரம் 16 மடங்குகளாக அதிகரிக்க வேண்டும். வட்டத்தின் குறைந்த பட்ச ஆரம் 4 கி.மீக்குச் சமமாகும்.

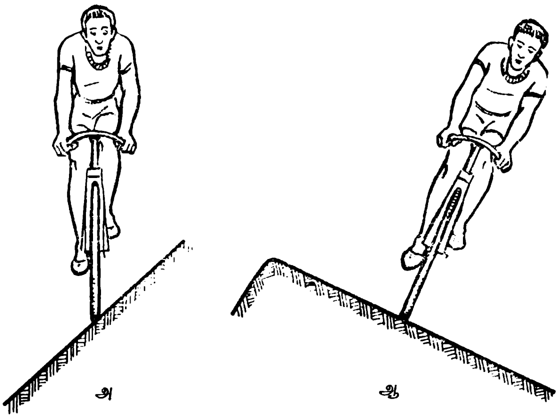
மிக எளிய போக்குவரத்துச் சாதனமாகிய மிதி வண்டியை நாம் கவனிக்காமல் விட்டுவிட முடியுமா? ஒரு வளைவில் செல்லும் போது மிதி வண்டி ஓட்டுபவர் ஒருவர் எவ்வாறு சாய்கிறார் என்பதை நாம் ஒவ்வொருவரும் பார்த்திருக்கிறோம். Rஐ ஆரமாகக் கொண்ட ஒரு வட்டத்தைச் சுற்றி, v என்னும் வேகத்துடன் அதாவது வட்டத்தின் மையத்தை நோக்கி $\frac{v^2}{R}$ என்னும் எண் மதிப்பும் கொண்ட முடுக்கத்துடன் செல்ல வேண்டும் என மிதி வண்டி ஓட்டுநர் ஒருவருக்கு நாம் குறிப்பிட்டுச் செல்லுவோம். இப்பொழுது பூமியின் ஈர்ப்பைத் தவிர வட்ட மையத்திலிருந்து கிடைமட்டத்தில் வெளிநோக்கிய கூடுதல் விசை ஒன்றும் மிதிவண்டி ஓட்டுநரின் மேல் செயல்படுகிறது. இவ்விசைகளும், இவற்றின் கூட்டுத்தொகையும் படம் 21ல் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. மிதி வண்டி ஓட்டுநர் அவரை நிலைக்குத்தாக வைத்துக் கொள்ளுதல் வேண்டும். அல்லது அவர் கீழே விழ ஏதுவாகும் என்பது தெளிவு. ஆனால் அவருடைய நிலைக்குத்துக் கோடு பூமியினுடையதோடு ஒன்றியிருக்கவில்லை $\frac{mv^2}{R}$, mg ஆகிய திசையுளிகள் ஒரு செங்கோண முக்கோணத்தின் அடிப்பக்கங்களாக அமைந்திருப்பதை வரைபடத்திலிருந்து காண முடிகிறது. α என்னும் கோணத்தின் எதிர்பக்கம், மற்றும் இணைந்த பக்கம் ஆகியவற்றின் விகிதமே திரிகோணமிதியில் α என்னும் கோணத்தின் டான்ஜென்ட் (tangent) என அழைக்கப்படுகிறது. வரைபடத்திலிருந்து $\tan\alpha = \frac{v^2}{Rg}$

என்பதைத் தெரிந்து கொள்கிறோம். இணைமாற்றுத் தத்துவத்துடன் முழுவதுமாகப் பொருந்துவது போன்று பொருண்மை சரிகட்டப்பட்டிருக்கிறது. எனவே மிதிவண்டி ஓட்டுநர் ஒருவரின் சாய் கோணம் அவருடைய பொருண்மையைப் பொறுத்ததல்ல. ஒரு பருமனான ஓட்டுநரும் மெலிந்த ஓட்டுநரும் வளைவில் செல்லும்போது ஒரே அளவாகத்தான் சாய்கிறார்கள். இவ்வாறு சாய்தல் இயக்கவேகத்தையும் வட்டத்தின் ஆரத்தையும் எவ்வாறு சார்ந்திருக்கிறது என்பதை மேற்கூறிய சூத்திரமும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள முக்கோணமும் காட்டுகின்றன (இயக்கவேகத்தின் அதிகரிப்பைப் பொறுத்து சாய்தல் அதிகப்படுகிறது; வட்டத்தின் ஆரம் குறைவதைப் பொறுத்து சாய்தல் அதிகரிக்கிறது).



படம் 21

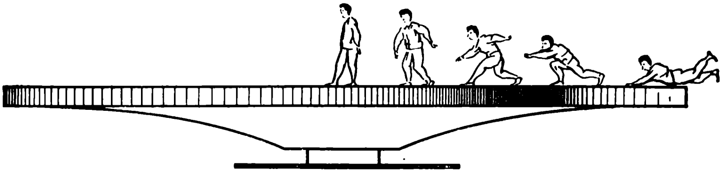
வளைவில் செல்லும் பொழுது சைக்கிள் ஓட்டுநரின் நிலைக்குத்துக் கோடு, பூமியின் நிலைக்குத்துக் கோட்டுடன் ஏன் ஒன்றியிருக்கவில்லை என்பதற்கான விளக்கத்தை நாம் அறிந்திருக்கிறோம். அப்பொழுது அவர் எப்படி உணர்வார். இதைத் தெரிந்து கொள்ள வேண்டுமாயின் படம்21ஐச் சுற்ற வேண்டியிருக்கிறது. இப்பொழுது சாலை மலைச்சரிவு போலத் தோன்றுகிறது (படம் 22அ). ரப்பர் டயருக்கும் சாலையில் உள்ள கருங்கற்களுக்கும் இடையேயான உராய்வு



படம் 22

விசை போதுமானதாக இல்லாதிருந்தால் (உதாரணமாக சாலை நனைந்திருக்கும் பொழுது) மிதி வண்டி வழுக்கி விடுகிறது. குறுகிய வளைவில் செல்லும் பொழுது ஒரு குழியினுள் விழ ஏதுவாகலாம் என்பன இதிலிருந்தும் தெளிவாகின்றன.

இதை முன்னரே அறிந்து, நெடுஞ்சாலைகளின் குறுகிய வளைவுகளில் சாலை சாய்வாகவே அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதாவது படம் 22 (ஆ)ல் காட்டியிருக்கிறபடி, மிதி வண்டி ஓட்டுபவருக்குக் கிடைமட்டத்தில் இருக்குமாறு சாலை அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் வழுக்கி விழுவதை அதிகமான அளவில் குறைக்க முடிகிறது அல்லது முழுவதுமாக அகற்ற முடியும் என்றே சொல்லலாம். மிதி வண்டிப் பாதையிலும், பெரிய நெடுஞ்சாலைகளிலும் இவ்வாறுதான் வளைவுகள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 23

சுழற்சி

இப்பொழுது நாம் சுழன்று கொண்டிருக்கும் தொகுதி களைப் பற்றிப் பார்ப்போம். ஒரு அச்சை மையமாகக் கொண்டு, ஒரு விநாடியில் ஏற்படுகிற சுற்றுக்களின் எண் ணிக்கையாலேயே இத்தகைய தொகுதியின் இயக்கம் விவ ரிக்கப்படுகிறது. சுழலச்சின் திசையைப் பற்றியும் தெரிய வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது.

சுழன்று கொண்டிருக்கிற தொகுதிகளில் ஏற்படுகிற வாழ்க்கையின் தனித்தன்மைகளைத் தெரிந்து கொள்வதற் காக நன்கு அறியப்பட்ட சவாரியாகிய ''விளையாட்டுச் சக் கரம்'' ஒன்றை நாம் பரிசீலனை செய்வோம் (படம் 23). இதன் அமைப்பு மிக எளிதாயிருக்கிறது. பல மீட்டர்கள் அளவுள்ள விட்டத்தைக் கொண்ட ஒரு வழவழப்பான வட் டத் தகடு வேகமாகச் சுழல்கிறது. விரும்புகிறவர்கள் அனைவ ரும் அதன் மேல் ஏறி, கீழே விழாமல் சமாளிப்பதற்காக வரவேற்கப்படுகிறார்கள். இயற்பியலைச் சிறிதளவும் அறியா தவர்கள்கூட, இதன் வெற்றியின் இரகசியத்தை வெகு சீக் கிரமே புரிந்து கொள்கிறார்கள்: வட்ட மையத்திலிருந்து அதிக தூரம் செல்லும் பொழுது ஒருவன் தன்னைக் கீழே விழாமல் சமாளிப்பது மிகவும் கடினமாயிருப்பதால் கீழே விழாமல் நிற்க வேண்டுமாயின், ஒருவர் மையத்தை நோக்கிச் செல்ல வேண்டியிருக்கிறது.

இத்தகைய தட்டு, தனிப்பட்ட அம்சங்களைத் தன்னுள் கொண்ட ஒரு சடத்துவமற்றத் தொகுதியாகும். தட்டின் மையத்திலிருந்து R என்னும் தூரத்திலிருக்குமாறு அதனுடன் பொறுத்தப்பட்ட ஒவ்வொரு பொருளும் Rஐ ஆரமாகக் கொண்டுள்ள வட்டத்தைச் சுற்றி v என்னும் வேகத்துடன் அதாவது $\frac{v^2}{R}$ என்னும் முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது. நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருப்பது போலவே சடத்துவமற்ற காட்சிப்பதிவு செய்பவரின் நோக்கு நிலையிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது மையத்திலிருந்து ஆரத்தின் வழியாக வெளிநோக்கிய mv^2/R அளவுள்ள கூடுதல் விசை ஒன்று தோன்றியிருத்தலை இது குறிப்பாகக் காட்டுகிறது. இந்த ஆரக்கால் விசையானது தட்டின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் செயல்பட்டு அங்கு $\frac{v^2}{R}$ என்னும் ஆரக்கால் முடுக்கத்தை உண்டாக்குகிறது. ஒரே வட்டத்தின் மேல் அமைந்துள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் இம்முடுக்கத்தின் எண் மதிப்புகள் சர்வசமமாயிருக்கின்றன. வெவ்வேறு வட்டங்களின் மேல் அமைந்துள்ள புள்ளிகளின் மேல் செயல்படுகிற முடுக்கங்களைப்பற்றி ஏதேனும் சொல்ல முடியுமா? $\frac{v^2}{R}$ என்னும் சூத்திரத்தின் படி, மையத்திலிருந்து புள்ளி அமைந்துள்ள தூரம் சிறியதானால், முடுக்கம் அதிகமாயிருக்கும் என்று விரைந்து பதிலளிக்க வேண்டாம். இது உண்மையான பதில் அல்ல. ஏனென்றால் மையத்திலிருந்து ஒரு புள்ளி அமைந்துள்ள தூரம் அதிகமாகும் போது அப்புள்ளிகளின் வேகமும் அதிகமாகிறது. உண்மையில், ஒரு வினாடியில், சக்கரத்தின் சுழற்சியின் எண்ணிக்கை n ஆக இருக்கும் பொழுது சக்கரத்தின் மையத்திலிருந்து R என்னும் தூரத்தில் சக்கரத்தின் மேல் அமைந்துள்ள புள்ளி ஒரு வினாடியில் பின்பற்றிச் செல்

கிற பாதையின் நீளத்தை, அதாவது அப்புள்ளியின் வேகத்தை $2\pi Rn$ எனக் குறிக்கலாம்.

ஒரு புள்ளியின் வேகமானது, அப்புள்ளி மையத்திலிருந்து அமையப் பெற்றிருக்கும் தூரத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. இப்பொழுது முடுக்கத்துக்கான சூத்திரத்தை நாம் கீழ்வருமாறு திருத்தி எழுதலாம்:

$$a = 4\,\pi^2 n^2 R$$

ஆனால் சக்கரத்தின் மேல் அமைந்துள்ள எல்லா புள்ளிகளும் ஒரு விநாடியில் செய்கிற சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை ஒன்றாகவே இருப்பதால், கீழ்வருகிற முடிவுக்கு நாம் வருகிறோம். சுழன்று கொண்டிருக்கும் சக்கரத்தின் மேல் செயல்படுகிற ''ஆரக்கால் ஈர்பினால்'' செயலில் முனைவிக்கப்பட்ட விசையால் உண்டாக்கப்படுகிற முடுக்கமானது சக்கரத்தின் மையத்திலிருந்து ஒரு புள்ளி அமைந்திருக்கும் தூரத்தின் விகிதாச்சாரத்திற்கேற்ப அதிகரிக்கிறது.

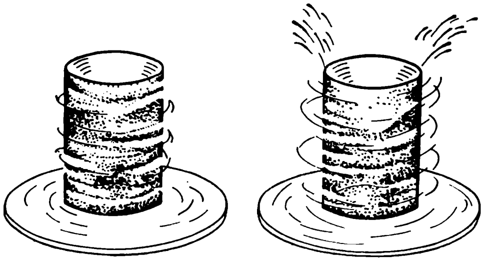
நம் கவனத்தைக் கவருகிற இச்சடத்துவமற்ற தொகுதியில், வெவ்வேறு வட்டங்களின் மேல் ஈர்ப்பு விசையானது வித்தியாசமானதாயிருக்கிறது. ஆகவே மையத்திலிருந்து வெவ்வேறு தூரங்களில் அமைந்துள்ள வெவ்வேறு பொருட்களின் ''நிலைக்குத்துக் கோடுகளும்'' வெவ்வேறு திசைகளில் அமைந்திருக்கின்றன. ஆனால் சக்கரத்தின் மேலுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் பூமியின் ஈர்ப்பு விசையானது சமமாகவே இருக்கிறது. ஆனால் மையத்திலிருந்து ஒரு புள்ளி அமைந்திருக்கும் தூரம் அதிகரிக்கும் பொழுது, கூடுதல் ஆரக்கால் விசையைக் குறிக்கும் திசையுளியின் எண் மதிப்பும் அதிகமாகிறது. ஆகவே செவ்வகங்களின் மூலைவிட்டங்கள் நிலைக்குத்துக் கோட்டிலிருந்து (பூமியின் மேற்பரப்புக்கு செங்குத்தாக) அதிகமாக விலகிச் செல்கின்றன.

8*

''விளையாட்டுச் சக்கரத்திலிருந்தும்'' வழுக்கி விழுகிற ஒருவரின் அடுத்தடுத்த உணர்ச்சிகளை அவரது நோக்கு நிலைகளிலிருந்து நாம் கற்பனை செய்து பார்த்தோமேயானால் மையத்திலிருந்து ஒருவர் நின்று கொண்டிருக்கும் தூரம் அதிகமாகும் பொழுது தட்டு அதிகமாகச் சாய்ந்து, அதன் மீது தங்கியிருப்பது இயலாத ஒன்றாகிறது என நாம் கூறலாம்.

வளைவில், சாய்ந்து அமைக்கப்பட்டிருக்கும் நெடுஞ்சாலையைப் போன்று இச்சடத்துவத் தொகுதிக்கும் ஒரு சமாளிப்பு உக்தியைக் கண்டுபிடிப்பது சாத்தியமானதா? என்ற கேள்வி எழலாம். ஆம். இது சாத்தியமானதே! ஆனால் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் விளைவு ஈர்ப்பு விசைக்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்கிற ஒரு தளப்பரப்பால் நமது வட்டத் தட்டை மாற்றீடு செய்ய வேண்டியிருக்கும். இத்தகையதொரு தளப்பரப்பின் அமைப்பை நாம் கணக்கிட முடியும். இது பரவளைவுத்திண்மம் (paraboloid) என அழைக்கப்படுகிறது. இப்பெயர் தற்செயலாக ஏற்பட்டதல்ல. ஒரு பரவளைவுத்திண்மத்தின் ஒவ்வொரு நிலைக்குத்துக் கோட்டு வெட்டுத் துண்டும் ஒரு பரவளையாகும். இதுவே எறியப்பட்ட ஒரு பொருளின் பாதையாகும் என்பதை முன்னரே பார்த்தோம். பரவளையத்தை அதன் அச்சை மையமாகக் கொண்டு சுழற்றும் பொழுது ஒரு பரவளையத்திண்மம் கிடைக்கிறது.

தண்ணீரைக் கொண்டுள்ள பாத்திரத்தை வேகமாகச் சுழலச் செய்வதன் மூலம் இத்தகையதொரு தளப்பரப்பை மிக எளிதில் உருவாக்க முடியும். சுழலுகிற திரவத்தின் மேற்பரப்பே சரியான பரவளையத்திண்மமாக இருக்கிறது. ஒவ்வொரு தண்ணீர்த் துகளையும் தளப்பரப்புடன் அழுத்துகிற விசை தளப்பரப்புக்குச் செங்குத்தாக இருக்கும் பொழுது தண்ணீர்த் துகள்கள் ஒய்வு நிலைக்கு வருகின்றன.



படம் 24

ஒவ்வொரு சுழல் திசைவேகத்திற்கும் ஒரு பரவளையத்திண்மம் பொருந்துவதாய் இருக்கிறது (படம் 24).

ஒரு கெட்டியான பரவளையத்திண்மத்தைச் செய்து அதன் மூலமாக பரவளையத்திண்மத்தின் இத்தன்மையைக் காட்சியளவில் செய்து காட்ட முடியும். தகுந்த வேகத்துடன் சுழன்று கொண்டிருக்கிற ஒரு பரவளையத்திண்மத்தின் மீதுள்ள எந்தப் புள்ளியில் ஒரு சிறு பந்து வைக்கப்பட்டாலும் அது ஒய்வு நிலையிலேயே இருக்கும். அதன் மீது செயல்படுகிற விசை தளப்பரப்புக்குச் செங்குத்தாக இருக்கிறது என்பதே இதன் பொருளாகும். இன்னொருவிதமாகக் கூறினால் சுழன்று கொண்டிருக்கிற ஒரு பரவளையத்திண்மமானது ஒரு கிடைப்பரப்பின் தன்மைகளைக் கொண்டிருப்பது போன்று செயல்படுகிறது. பூமியின் மேல் நடப்பது போன்று ஒருவர் இத்தகையதொரு தளப்பரப்பின் மீது உறுதியாக நடக்க முடியும். இருப்பினும் நடக்கும் பொழுது நிலைக்குத்துக் கோட்டின் திசை மாறுகிறது.

மையவிலக்கு விசையை அடிப்படையாகக் கொண்ட முயற்பாடுகள் தொழில் நுட்பத் துறையில் மிகப் பரவலாக உபயோகத்தில் உள்ளன. உதாரணமாக இவ்வியற்பாடுகளின் அடிப்படையில்தான் மையவிலக்கு இயந்திரம் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

ஒரு மையவிலக்கு இயந்திரத்தில், உருளை வடிவப் பாத்திரம் ஒன்று அதன் அச்சை மையமாகக் கொண்டு வேகமாகச் சுழல்கிறது. விளிம்பு வரையிலும் தண்ணீரைக் கொண்டுள்ள இத்தகைய உருளைப் பாத்திரத்தினுள் பலவகைப் பட்ட பொருட்களை எறிந்தால் என்ன நிகழ்கிறது? என்பதைப் பார்ப்போம்

உலோகத்தால் செய்யப்பட்ட பந்து ஒன்றைத் தண்ணீரினுள் நழுவ விட்டால் இது பாத்திரத்தின் அடிப்பாகத்தை அடைகிறது. ஆனால் நமது நிலைக்குத்துக் கோட்டின் வழியே அப்பந்து செல்லவில்லை. முழுநேரமும் சுழலச்சிலிருந்தும் விலகியிருந்து பாத்திரத்தின் ஓரத்தில் சென்று ஓய்வு நிலையை அடைகிறது. இப்பொழுது தக்கையால் செய்யப்பட்ட ஒரு பந்தை உருளைப் பாத்திரத்தினுள் எறிவோம். இதற்கு முந்திய நிகழ்ச்சிக்கு மாறாக இது உடனடியாகச் சுழலச்சை நோக்கி நகர ஆரம்பித்துச் சுழலச்சை ஒட்டியே தங்கி விடுகிறது.

இம்மாதிரி மையவிலக்கு இயந்திரத்தின் உருளைப் பாத்திரம் அதிக விட்டத்தைக் கொண்டிருந்ததானால், பந்து மையத்திலிருந்து ஓரத்தை நோக்கி நகரும் போது முடுக்கம் வேகமாக அதிகரிப்பதை நாம் பார்க்கலாம்.

இவ்வாறு நடைபெறுகிற இயற்பாடுகள் நம்மைத் தடுமாற்றமடையச் செய்வதில்லை. மையவிலக்கு இயந்திரத்தினுள் கூடுதல் ஆரவிசை ஒன்று செயல்படுகிறது. மையவிலக்கு இயந்திரம் போதுமான வேகத்துடன் சுழன்று கொண்டிருக்கும் பொழுது அதன் ''அடிப்பாகம்'' உருளைப் பாத்திரத்தின் பக்க வாட்டுத் தளப்பரப்பாக இருக்கிறது. உலோகப் பந்து தண்ணீரில் ''அமிழ்கிறது'' ஆனால் தக்கையால் செய்யப்பட்ட பந்தோ தண்ணீரில் ''மிதக்கிறது''. தண்ணீரினுள் ''விழுகிற'' பொருள் சுழலச்சிலிருந்து அதிக தூரம் சென்றால், அப்பொருள் அதிகக் கனமானது என்பதைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

போதுமான அளவுக்கு முழுமையுடன் செய்யப்பட்ட மையவிலக்கு இயந்திரங்களில், சுழல் திசைவேகமானது 60000 சுற்றுக்கள்/நிமிடம் அல்லது 10^3 சுற்றுக்கள்/விநாடி என்ற அளவுக்கு அதிகரிக்கப்படலாம். சுழலச்சிலிருந்து 10 செ.மீ தூரத்தில், ஆர ஈரப்பு விசையினுல் கூடிய முடுக்கம் கிட்டத்தட்ட $40 \times 10^6 \times 0.1 = 4 \times 10^6$ மீ/விநாடி^{2}க்குச் சமமாயிருக்கிறது அதாவது புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தைப் போல 400000 மடங்குகள் அதிகமானதாகும். இத்தகைய இயந்திரங்களைப் பற்றிய கணக்கீடுகளில் புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தை நாம் கணக்கில் எடுக்காமல் விட்டுவிடலாம் என்பது தெளிவாகிறது. ஆகவே இச்சூழ்நிலையில் உருளைப் பாத்திரத்தின் பக்கவாட்டுத் தளப்பரப்பை மையவிலக்கு இயந்திரத்தின் ''அடிப்பாகமாக'' எடுத்துக் கொள்வதற்கு உண்மையாகவே நமக்கு உரிமை இருக்கிறது.

நாம் மேற்சொன்னவற்றிலிருந்தும் மையவிலக்கு இயந்திரம் பல துறைகளிலும் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுவது தெளிவாகிறது. ஒரு கலவையில், கனமான துகள்களை இலேசானவற்றிலிருந்தும் பிரித்தெடுக்க நாம் விரும்பினுல், மையவிலக்கு இயந்திரத்தை உபயோகப்படுத்துவதே மிகச் சிறந்ததாகும். ''சேற்று நீர் தெளிந்து விட்டது'' என்னும் வாசகம் அனைவரும் அறிந்த ஒன்றே! அழுக்கு நீர் போதுமான அளவுக்கு நீண்ட நேரம் அசைவின்றி வைக்கப்பட்டால், அழுக்கானது (வழக்கமாக இது நீரைக் காட்டிலும் கனமானது) அடிப்பாகத்தில் தேங்கிவிடுகிறது. ஆயினும் இவ்வாறு தங்குகிற செயல்முறை பல மாதங்கள் எடுக்கலாம். ஒரு நல்ல மையவிலக்கு இயந்திரத்தின் மூலம் தண்ணீரை உடனேயே சுத்தம் செய்ய முடிகிறது.

ஒரு நிமிடத்தில் பல பத்தாயிரம் சுற்றுக்களைச் செய்யத்தக்க திசைவேகத்துடன் சுழல்கிற மையவிலக்கு இயந்திரங்கள், நீரிலிருந்து மட்டுமின்றி பாகு நிலைத் திரவங்க

ளிலிருந்தும் மிக நுண்ணிய அழுக்குத் துகள்களைப் பிரித்தெடுக்கவல்லதாய் இருக்கின்றன.

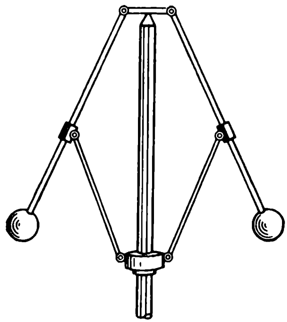
படிகங்களை அவை வளர்த்தப்பட்ட கரைசல்களிலிருந்து பிரித்து எடுப்பதற்கும், உப்புக்களிலிருந்து நீர் நீக்கப்படுவதற்கும் மெருகெண்ணெயைச் சுத்தம் செய்வதற்கும் வேதியல் தொழில் நுட்பத் துறையில் மையவிலக்கு இயந்திரங்கள் உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன. உணவுத் தொழில் நுட்பத் துறையில் வெல்லத்திலிருந்து பாகைப் பிரித்தெடுப்பதற்கு இவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

பல்வேறு பாய்பொருள்களிலிருந்தும், திட, திரவப் பொருட்களின் கூறுகளைப் பிரித்தெடுப்பதற்குப் பயன்படும் மையவிலக்கு இயந்திரங்கள், பிரிக்கும் இயந்திரங்கள் என (separators) அழைக்கப்படுகின்றன. பாலைப் பதனஞ் செய்வதில் இவை முக்கியமான பங்காற்றுகின்றன. பாலைப் பிரிக்கும் இயந்திரங்கள் விஞடிக்கு 2—6 ஆயிரம் சுழற்சிகளுடன் கூடிய வேகத்துடன் சுழல்கின்றன. இவற்றின் உருளை வடிவப் பாத்திரங்கள் 5 மீட்டர் விட்டத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன.

மையவிலக்கு வார்ப்பித்தல் உலோகவியலில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. நிமிடத்திற்கு 300 முதல் 500 சுற்றுக்களுடன் கூடிய திசைவேகத்தில் சுழன்று கொண்டிருக்கிற வார்ப்புருவினுள் பாய்ந்து செல்கிற உலோகத்தின் திரவமானது வார்ப்புருவின் புறத்தளப்பரப்புக்கு எதிராகக் கணிசமான விசையுடன் அழுத்தப்படுகிறது. இம்முறையில்தான் அடர்த்தி கூடிய அதிக சுரான உலோகக் குழாய்கள், கொப்புளங்கள், கீறல்கள் இன்றி வார்க்கப்படுகின்றன.

மையவிலக்கு வார்ப்பித்தல் உலோகவியலில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்பட்டஒரு இயந்திரத்தின் சுழலும் பகுதியின் சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கையைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கு உப

யோகப்படுத்தப்படும் ஒரு எளிய கருவி படம் 25ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இக்கருவியானது மையவிலக்குக் கட்டுப்படுத்தும் கருவி (Centrifugal Governor) என அழைக்கப்படுகிறது. சுழற்சியின் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்பொழுது மையவிலக்கு விசையும் அதிகரித்து, சிறு பந்துகள், கட்டுப்படுத்துங்கருவியின் அச்சிலிருந்தும் வெளி நோக்கி விலகிச் செல்கின்றன. பந்துகளுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ள கம்பிகள் பழைய நிலையிலிருந்து விலக்கப்படுகின்றன. இவ்விலக்கம் பொறியாளர்கள் கணக்கிட்டிருக்கிறபடி ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை எட்டியதும், சில மின்சார இணைப்புகள் துண்டிக்கப்படலாம். உதாரணமாக நீராவி இயந்திரத்தில் அதிகப்படியான நீராவியை வெளியேற்றுவதற்காக ''ஒரு வழி அடைப்பு'' திறக்கப்படலாம். இச்செயல் சுழற்சியின் திசைவேகத்தைக் குறைத்து, கம்பிகளை அவற்றின் இயல்பான நிலைக்குத் திரும்பச் செய்கிறது.



படம் 25

கவனத்தைக் கவருகிற ஒரு பரிசோதனையைப் பார்க்க இருக்கிறோம். ஒரு மின்சார சுழல் இயந்திரத்தின் (motor) அச்சின் மீது அட்டைப் பலகையாலான ஒரு சிறு சட்டத்தகடைப் பொறுத்தவும். மின்சாரத்தைப் பாயச் செய்த பின்னர் மரத்துண்டு ஒன்றைச் சுழலுகின்ற அட்டைப் பலகைத் துண்டைத் தொடும்படியாக அருகில் கொண்டு வரவும். இரும்பாலான ரம்பத்தை உபயோகிப்பதைக் காட்டிலும் இம்முறையில் பாதியளவு சுலபத்துடன் ஓரளவு தடித்த மரக்கட்டையை அறுத்தல் சாத்தியமாகிறது.

அட்டைப் பலகையாலான கை ரம்பத்தை உபயோகித்து மரத்தை அறுக்கும் முயற்சி நமக்குச் சிரிப்பைத் தரலாம். சுழன்று கொண்டிருக்கிற ஒரு அட்டைப் பலகை மரத்தை அறுப்பது ஏன்? அட்டைப் பலகையிலான வட்டத் தகட்டின் ஓரத்தில் அமைந்திருக்கும் அட்டைப் பலகையின் துகள்களின் மீது அளவிட முடியாத அளவிலான மையவிலக்கு விசை முனைவிக்கப்படுகிறது. அட்டைப் பலகையின் தளப்பரப்பை மாற்றவல்ல பக்கவாட்டு விசைகள் மையவிலக்கு விசையுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கையில் புறக்கணிக்கத் தக்கதாய் இருக்கின்றன. அதன் தளப்பரப்பை நிலையாக வைத்துக் கொண்டு அட்டைப் பலகையாலான வட்டத் தகடு, மரத்தை அரித்து உட்செல்லும் திறனைப் பெற்றிருக்கிறது.

நாம் மேலே குறிப்பிட்டபடி, பூமியின் சுழற்சியின் விளைவாக எழுகிற மையவிலக்கு விசையே, வேறுபட்ட அட்சரேகையைக் கொண்டுள்ள இடங்களில் ஒரு பொருள் வித்தியாசமான எடையைக் கொண்டிருப்பதற்குக் காரணமாயிருக்கிறது.

ஒரு பொருளானது துருவத்தைக் காட்டிலும் புவி நடுக்கோட்டில் குறைந்த எடையைக் கொண்டிருப்பதற்கான காரணங்கள் இரண்டு உள்ளன. பூமியின் மேற்பரப்பில் காணப்படும் பொருட்கள், அவற்றின் அமைவிடத்தின் அட்சரேகையைப் பொறுத்து, பூமியின் அச்சிலிருந்து வெவ்வேறு தூரத்திலிருக்கின்றன. உண்மையில், துருவத்திலிருந்து, நில நடுக்கோட்டுக்குச் செல்லும்போது இத்தூரம் அதிகரிக்கிறது. மேலும் ஒரு துருவத்தில் இருக்கிற பொருளானது பூமியின் சுழலச்சின் மேல் இருக்கிறது. ஆகவே மையவிலக்கு முடுக்கமாகிய $a=4\pi^2n^2R$ ஆனது பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. (சுழலச்சிலிருந்து பொருளின் தூரமாகிய $R=0$). இதற்கு மாறாக பொருள் புவி நடுக்கோட்டின் மீது இருக்

கையில் இம்முடுக்கமானது பெருமமாயிருக்கிறது. மையவி லக்கு விசையானது ஈர்ப்பு விசையைக் குறைக்கிறது. ஆகவேதான் புவி நடுக்கோட்டிலிருக்கும் போது ஒரு பொருள் தராசுத் தட்டின் மீது செலுத்துகிற அழுத்தம் (பொருளின் எடை) மிகச்சிறியதாயிருக்கிறது.

பூமி, மிகச் சரியான கோள வடிவத்தைக் கொண்டிருக் குமேயானால் ஒரு கிலோகிராம் எடையைத் துருவத்திலி ருந்து புவி நடுக்கோட்டிற்கு எடுத்துச் செல்லும் போது அது 3.5 கிராம் எடையை இழக்கிறது. $4\pi^2n^2Rm$ என்னும் சூத்திரத்தில் $n=1$ சுற்று/நாள் (ஒரு நாளில் ஒரு சுற்று), $R=6\,300$ கி.மீ, $m=1\,000$ கிராம் ஆகிய மாற்றீடுகளைச் செய்வதன் மூலம் இந்த எண்ணை எளிதாகக் கணக்கிட் டுப் பெற முடியும். அளவை அலகுகளை விஞடிகள், சென் டிமீட்டர்கள் ஆகியவற்றுக்கு மாற்ற மட்டும் மறந்து விடக் கூடாது.

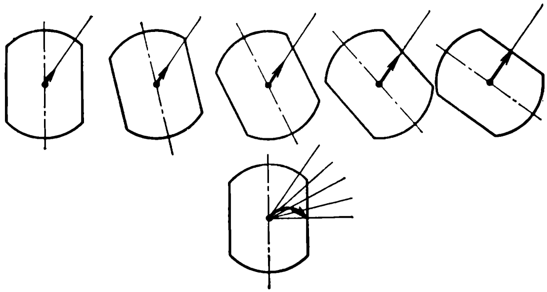
இருப்பினும், உண்மையில் ஒரு கிலோகிராம் எடை 3.5 கிராம் எடையை இழக்காமல்5. 3 கிராம் எடையையே இழக்கிறது. பூமி, வடிவியலில் நீள்வட்டப்பிழம்புரு (ellipsoid) என்று அழைக்கப்படும், சிற்றச்சுக் கோள வடி வில் இருப்பதே இதற்கான காரணமாகும். ஒரு துருவத்தில் இருந்து பூமியின் மையம் வரையிலான தூரம், புவிநடுக் கோட்டில் பூமியின் ஆரத்தைவிட ஏறக்குறைய 300மடங் குகள் குறைவானதாயிருக்கிறது.

பூமியின் இச்சுருக்கமும் இதே மையவிலக்கு விசையா லேயே ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. உண்மையில், பூமியில் உள்ள எல்லாத் துகள்களின் மீதும் இது முனைவிக்கப்படு கிறது. நெடுங்காலத்திற்கு முன்னரே மையவிலக்கு விசை யானது சிற்றச்சு பிழம்புரு வடிவத்தைக் கொடுத்து நம் கோளத்தை வார்த்து விட்டது.

கோரியாலிஸ் விசை

ஆர ஈர்ப்பு விசைகளினுல் மட்டும், சுழல் தொகுதிகளைக் கொண்ட உலகின் தனித் தன்மைகள் எல்லாவற்றையும் விவரிக்க முடியாது. நம் கவனத்தைக் கவருகிற மேலும் ஒரு விளைவுடன் நாம் அறிமுகம் செய்து கொள்ளப் போகிறோம். இதன் கொள்கை கால்பர்ட்குஸ்டாவ்டி காரியாலிஸ் என்னும் பெயருடைய பிரெஞ்சுக்காரரால் 1835ம் ஆண்டில் அறிமுகப்படுத்தப்பட்டது.

கீழ்வரும் கேள்விக்கான பதில்களை அறிய முனைவோம். சுழல் ஆய்வகம் ஒன்றின் நோக்குநிலையிலிருந்து நோக்கும் பொழுது நேர்கோட்டுப் பாதை இயக்கம் எவ்வாறு தோன்றுகிறது? இத்தகையதொரு ஆய்வகத்தின் திட்ட அமைப்பு படம் 26ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு பொருளின் நேர்கோட்டு எறிபாதையானது மையத்தின் வழியே செல்லும் ஒரு கதிரால் குறித்துக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. பொருளின் பாதை ஆய்வகத்தின் சுழல் மையத்தின் வழியே செல்லும் உதாரணத்தை மட்டுமே நாம் பரிசீலனை செய்வோம். ஆய்வகத்தைத் தாங்கியிருக்கிற வட்டத் தகடு ஒரே சீராகச் சுழல்கிறது. நேர்கோட்டு எறிகோட்டுக்குச் சார்பாக ஆய்வகத்தின் ஐந்து நிலைகள் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. ஆய்வகத்தின் சார்பு நிலைகளும், பொருளின் எறிபாதையும் ஒன்று, இரண்டு, மூன்று மற்றும் இன்ன பிற விஞடிகளுக்குப் பின்னர் இதுபோன்றுதான் தோற்றமளிக்கின்றன. மேலிருந்து கீழ்நோக்கிப் பார்க்கும் பொழுது ஆய்வகமானது இடஞ்சுழியாகச் சுழன்று கொண்டிருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஒன்று, இரண்டு, மூன்று விஞடிகளிலும் மற்றும் இன்ன பிற நேரங்களிலும் பொருள் கடந்து செல்லும் பகுதிகள் அதன் பாதையின் மீது அம்புக்குறிகளால் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. சீரான நேர்கோட்



படம் 26

டுப் பாதை இயக்கத்தைப் பற்றியே நாம் பரிசீலித்துக் கொண்டிருப்பதால், (ஒரு நிலையான காட்சிப்பதிவாளரின் நோக்கு நிலையிலிருந்து) ஒவ்வொரு விஞடியிலும் பொருள் சமமான தூரத்தையே கடக்கிறது.

புதிதாக வர்ணம் பூசப்பட்டு வட்டத் தகட்டின் மேல் உருண்டு செல்கிற ஒரு பந்தை இயங்குகிற பொருளாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளவும். அவ்வட்டத் தகட்டின் மேல் எம்மாதிரியான அடிச்சுவடு தங்கியிருக்கும். நம் அமைப்பு இக்கேள்விக்குப் பதிலளிக்கிறது. ஐந்து வரைபடங்களிலும் காட்டப்பட்டிருக்கும் அம்புக்குறிகளின் முடிவு முனைகளைக் குறிக்கும் புள்ளிகள் ஒரே படத்திற்கு மாற்றப்பட்டிருக்கின் றன. இப்புள்ளிகளை ஒரு அலைவற்ற வளைகோட்டினுல் சேர்ப் பதே நாம் இன்னும் செய்ய வேண்டியதாகும். நம் மாதிரி யின் முடிவு நம்மை ஆச்சிரியத்துக்கு உள்ளாக்காது. சுழன்று கொண்டிருக்கிற காட்சிப்பதிவு செய்பவரின் நோக்கு நிலை யிலிருந்து நோக்கும் பொழுது ஒரு சீரான நேர்கோட்டுப் பாதை இயக்கமானது வளைகோட்டுப் பாதை இயக்கமாகத் தோன்றுகிறது. கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் விதி நம் கவ னத்தைக் கவருகிறது; இயக்கத்தின் போக்கில் இயங்குகிற ஒரு பொருள் அதன் பாதையின் வலப்புறவிலக்கப்படுகிறது.

வட்டத் தகடு இப்பொழுது வலஞ்சுழியாகச் சுற்றிக் கொண்டிருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். மேலே விவ ரிக்கப்பட்டது போன்ற ஒரு மாதிரியைத் திரும்ப அமைக்கும் பொறுப்பை வாசகர்களிடம் விட்டுவிடுகிரும்.

இந்த உதாரணத்தில், சுழன்று கொண்டிருக்கிற காட் சிப்பதிவு செய்பவர் ஒருவரின் நோக்கு நிலையிலிருந்து நோக்கும் பொழுது இயங்குகிற பொருள் அதன் பாதை யின் இடப்புறமாக விலக்கப்படுகிறது என்பதை இம்மாதிரி காட்டுகிறது.

சுழல் தொகுதிகளில் மையவிலக்கு விசை தோன்றுகிறது என்பதை நாம் அறிவோம். ஆயினும் இது ஆரத் திசையை நோக்கியிருப்பதால், இதன் செயல், பாதையின் மாற்றத்திற் கான காரணமாக அமைய முடியாது. ஆகவே சுழல் தொகு திகளில் மையவிலக்கு விசையைத் தவிர கூடுதல் விசை ஒன்றும் தோன்றுகிறது. இதுவே **காரியாலிஸ் விசை** என அழைக்கப்படுகிறது.

முந்திய உதாரணங்களில், காரியாலிஸ் விசையை அறி முகப்படுத்தாமலேயே மையவிலக்கு விசையினுல் மட்டும் நாம் நேர்த்தியான விளக்கம் தந்தது ஏன்? இதுவரையி லும் சுழல் காட்சிப்பதிவு செய்வோரின் நோக்கி நிலையிலி ருந்து ஒரு பொருளின் இயக்கத்தை நாம் கவனித்ததில்லை என்பதே இதன் காரணமாகும். ஆனுல் சுழல் காட்சிப்ப திவு செய்பவரின் நோக்கு நிலையிலிருந்து நோக்கும் பொழு துதான் காரியாலிஸ் விசை தோன்றுகிறது. சுழல் தொகுதி களில் ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் பொருட்களின் மீது மைய விலக்கு விசை மட்டுமே முனைவிக்கப்படுகிறது. உதாரண மாக, சுழல் ஆய்வகத்தில் தரையுடன் சேர்த்து ஆணியடி கப்பட்டிருக்கிற மேசையின் மீது மையவிலக்கு விசை மட் டுமே செயல்படுகிறது. ஆனுல் அம் மேசையிலிருந்து கீழே விழுந்து சுழல் ஆய்வகத்தின் தரையில் உருண்டு செல்லும்

பந்தின் மீது மையவிலக்கு விசை மட்டுமின்றி காரியாலிஸ் விசையும் செயல்படுகிறது.

காரியாலிஸ் விசையின் எண் மதிப்பு என்னென்ன கணியங்களைச் சார்ந்திருக்கிறது? இதை நாம் கணக்கிட முடியும். ஆனுல் கணக்கீடுகள் இங்கே விவரிக்க முடியாத அளவுக்குச் சிக்கலானவையாயிருக்கின்றன. ஆகவே இக்கணக்கீடுகளின் முடிவுகளை மட்டும் நாம் இங்கு விவரிக்கிறேம்.

மையவிலக்கு விசையின் எண் மதிப்பு, சுழலச்சிலிருந்து பொருள் இருக்கும் தூரத்தைச் சார்ந்திருக்கிறது என்பது ஏற்கனவே நாமறிந்ததே! காரியாலிஸ் விசையின் எண் மதிப்பு பொருளின் அமைவிடத்தைச் சார்ந்ததல்ல. இதன் எண் மதிப்பானது, இயங்குகிற பொருளின் திசைவேகத்தால், அதாவது பொருளின் வேகத்தால் மட்டுமின்றி, சுழலச்சுக்குச் சார்பான திசைவேகத்தின் திசையாலும் தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. சுழலச்சின் திசையில் பொருள் இயங்கினுல், காரியாலிஸ் விசை பூச்சியத்துக்குச் சமமாகிறது. திசைவேகத் திசையுளிக்கும், சுழலச்சுக்கும் இடையேயான கோணம் அதிகமாயிருந்தால், அதற்கேற்ப காரியாலிஸ் விசையும் அதிகரிக்கின்றது. சுழலச்சுக்குச் செங்குத்துத் திசையில் பொருளின் இயக்கம் நடைபெறும் பொழுது இவ் விசை இதன் பெரும் மதிப்பை அடைகிறது.

நாம் அறிந்திருக்கிறபடி, எப்பொழுதும் ஒரு திசைவேகத் திசையுளியை அதன் ஏதாவது இரு ஆக்கக்கூறுகளாகப் பிரியீடு செய்து, பொருள் உடனிகழ்வாக உள்ளாக்கப்பட்டிருக்கும் இரு விளைவு இயக்கங்களையும் தனித்தனியே பரிசீலனை செய்தல் சாத்தியமானதே!

பொருளின் திசைவேகமானது, சுழல் அச்சுக்கு இணையாகவும், செங்குத்தாகவும் முறையே $V_{\parallel}$, $V_{\perp}$ என்னும் கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டால், சுழலச்சுக்கு இணையான முதல் இயக்கம் காரியாலிஸ் விசையின் செயற்பாட்டுக்கு இலக்

காவதில்லை. காரியாலிஸ் விசையின் எண் மதிப்பாகிய F_c திசைவேகத்தின் $v_{\perp}$ என்னும் ஆக்கக்கூற்றினுல் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. கணக்கீடுகள் கீழ்வரும் சூத்திரத்தைத் தருகின்றன:

$$F_c = 4\,\pi n v_{\perp} m$$

இதில் m பொருளின் பொருண்மையையும், n ஒரு நேர அலகின் போது சுழல் தொகுதி செய்த சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கையையும் குறிக்கின்றன. தொகுதியின் சுழல் வேகம் அதிகரிப்பதனுலும், பொருளின் இயக்க வேகம் அதிகரிப்பதனுலும் காரியாலிஸ் விசையும் அதிகரிக்கிறது என்பதை இச்சூத்திரத்திலிருந்தும் அறிய முடிகிறது.

காரியாலிஸ் விசையின் திசையையும் கணக்கீடுகள் கணிக்கின்றன. இவ்விசையானது எப்பொழுதும் சுழலச்சுக்கும் இயக்கத் திசைக்கும் செங்குத்தாகச் செயல்படுகிறது. மேலும் நாம் ஏற்கனவே மேலே கூறியிருப்பது போல இடஞ்சுழியாகச் சுழலும் தொகுதியில், காரியாலிஸ் விசையானது இயக்கப் பாதையின் வலப்புறம் நோக்கியிருக்கிறது.

பூமியில் நம் கவனத்தைக் கவரும் வகையில் நிகழ்கிற பல இயற்பாடுகள் காரியாலிஸ் விசையின் செயற்பாட்டினுல் விளக்கப்படுகின்றன. பூமி கோள வடிவமானதாகும்; தட்டு வடிவமானதல்ல. இது காரியாலிஸ் விசையின் விளைவுகளை மிகச் சிக்கலானதாககுகிறது. பூமியின் மேற்பரப்பில் நடைபெறுகிற இயக்கங்களை மட்டுமின்றி, பூமியை நோக்கி செயல்படுகிற பொருட்களின் வீழ்ச்சியையும் இவ்விசைகள் பாதிக்கின்றன.

ஒரு பொருள் சரியாக நிலைக்குத்துக் கோட்டின் வழியே கீழ்நோக்கி விழுகிறதா? என்ற கேள்வியின் பதில் இல்லை என்பதேயாகும். துருவத்தில் மட்டுமே ஒரு பொருள் சரியாக நிலைக்குத்துக் கோட்டின் வழியே விழுகிறது. இங்கு இயக்கத் திசையும், பூமியின் சுழலச்சும் ஒன்றியிருக்கிறபடி

யால், காரியாலிஸ் விசை தோன்றுவதில்லை. புவி நடுக்கோட்டில் சூழ்நிலை மாறுபட்டதாக இருக்கிறது. இங்கு இயக்கத் திசையானது பூமியின் அச்சுடன் ஒரு செங்கோணத்தை அமைக்கிறது. வட துருவத்திலிருந்து பார்த்தால் பூமியின் சுழற்சி இடஞ்சுழியாகத் தோன்றுகிறது. ஆகவே சுய வீழ்ச்சியுறுகிற ஒரு பொருள் அதன் பாதைக்கு வலப்புறமாக, அதாவது கிழக்கு நோக்கி விலக்கப்படுகிறது. கிழக்கு நோக்கிய இவ்விலக்கத்தின் எண் மதிப்பு, நில நடுக்கோட்டின் மேல் பெருமமாக இருந்து, துருவங்களை நெருங்குகையில் பூச்சியமாகக் குறைவடைகிறது.

நில நடுக்கோட்டில் ஏற்படுகிற விலக்கத்தின் எண் மதிப்பை நாம் கணக்கிடுவோம். சுய வீழ்ச்சியுறுகிற பொருள் ஒரே சீரான முடுக்கத்துடன் இயங்குவதால், பூமியை நெருங்குகையில் கரியாலிஸ் விசை அதிகரிக்கிறது. ஆகவே நாம் ஒரு தோராயக் கணக்கீடு செய்வதுடன் நிறுத்திக் கொள்வோம். பொருள் 80மீ உயரத்திலிருந்து விழுந்தால், அதன் வீழ்ச்சி 4 விஞடிகளில் முடிவுக்கு வரும் என்பதை $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ என்னும் சூத்திரத்திலிருந்து அறிய முடிகிறது. வீழ்ச்சியின் சராசரி வேகம் 20 மீ/விஞடிக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

காரியாலிஸ் முடுக்கத்திற்கான $4\pi nv$ என்னும் சூத்திரத்தில் இவ்வேகத்தையே நாம் மாற்றீடு செய்ய வேண்டும். 24 மணி நேரத்தில் ஒரு சுழற்சி என்பதை ஒரு விஞடியில் இத்தனை சுழற்சிகள் என்று நாம் மாற்றுவோம். 24 மணி நேரத்தில் $24\times3\,600$ விஞடிகள் அடங்கியிருக்கின்றன. ஆகவே n என்பது $1/86\,400$ சுழற்சிகள் விஞடிக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இதன் விளைவாகக் காரியாலிஸ் விசை ஏற்படுத்துகிற முடுக்கம் $\pi/1\,080$ மீ/விஞடி^{2}க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இம்முடுக்கத்துடன், 4 விஞடிகளில், பொருள்

$^1/_2 \cdot \pi/1\,080 \times 4^2 = 2.3$ செ.மீ தூரத்தைக் கடக்கிறது. இதுவே நம் உதாரணத்தில் ஏற்படுகிற கிழக்கு நோக்கிய விலக்கத்தின் சரியான எண் மதிப்பாகும். வீழ்ச்சியின் சீரிலாத் தன்மையையும் சேர்த்து செய்யப்பட்ட துல்லியமான கணக்கீடு, இதனின்றும் சிறிது வேறுபட்ட எண்ணை அதாவது 3.1 செ.மீ ஐக் கொடுக்கிறது.

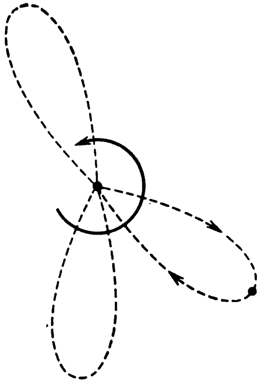
சுய வீழ்ச்சியுறுகிற ஒரு பொருளின் விலக்கம் நில நடுகோட்டில் பெருமமாகவும், துருவங்களில் பூச்சியமாகவும் இருக்கையில், ஒரு கிடைத்தளத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஒரு பொருள், காரியாலிஸ் விசையின் செயற்பாட்டினுல் அடையும் விலக்கம் இதற்கு முற்றிலும் எதிரிடையாக இருப்பதை நாம் பார்க்கலாம்.

வட துருவம் அல்லது தென் துருவத்தில் அமைந்துள்ள ஒரு கிடைத்தளமானது நாம் காரியாலிஸ் விசையைப் பற்றிப் பயிலத் தொடங்கிய பொழுது அறிமுகப்படுத்திய சுழல் வட்டத் தகட்டிலிருந்து சிறிதும் வேறுபட்டிருக்கவில்லை. வட துருவத்தில் ஒரு இடத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஒரு பொருள் காரியாலிஸ் விசையின் விளைவால் இயக்கத் திசையின் வலப்புறமாக விலக்கப்படுகிறது. இதுபோன்று தென் துருவத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருள் இயக்கத் திசையின் இடப்புறமாகவும் விலக்கப்படுகிறது. 500மீ/விஞடி என்னும் ஆரம்ப வேகத்துடன் துப்பாக்கியிலிருந்து விடுபட்டுச் சென்ற குண்டு ஒரு விஞடியில் (அதாவது அது 500மீ சென்ற பின்னர்) குறிவைத்த இலக்கிலிருந்து 3.5செ.மீ தூரம் கிடைத்தளத்தின் மேல் விலக்கப்படும் என்பதை காரியாலிஸ் முடுக்கத்துக்கான சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்தி வாசகர்கள் எளிதில் கணக்கிட முடியும்.

ஆஞல் நில நடுக்கோட்டில் அமைந்துள்ள ஒரு கிடைத்தளத்தில் மட்டும் விலக்கம் ஏன் பூச்சியமாக இருக்க வேண்டும்? கடின நிரூபணம் எதுவுமின்றியே இது இவ்வாறுதான்

இருக்க வேண்டும் என்று தெளிவாகத் தெரிய வருகிறது. வட துருவத்தில் பொருளானது இயக்கப் பாதைக்கு வலப்புறமாகவும், தென் துருவத்தில் இடப்புறமாகவும் விலக்கப் படுகிறது. எனவே துருவங்களுக்கு இடையே பாதி தூரத்தில் அதாவது நில நடுக்கோட்டில் விலக்கம் பூச்சியமாகவே இருக்கும்.

போகால்ட் ஊசிலியைக் கொண்டு செய்யப்படும் ஒரு பரிசோதனையை நாம் நினைவுபடுத்துவோம். ஒரு துருவத்தில் அலைவுறுகிற ஊசிலி அதன் அலைவு தளத்தை நிலைத்து நிற்கச் செய்கிறது. ஊசிலியின் கீழே சுழல்கிற பூமி, ஊசிலியிலிருந்தும் தூரமாய் நகர்கிறது. விண்மீன்களில் இருக்கின்ற ஒரு காட்சிப்பதிவு செய்பவர், போகால்ட்டின் பரிசோதனையை இவ்வாறுதான் விளக்குகிறார். பூமியுடன் சேர்ந்து சுழன்று கொண்டிருக்கிற ஒரு காட்சிப்பதிவு செய்பவர் காரியாலிஸ் விசையின் மூலம் இப்பரிசோதனையை விளக்குகிறார். உண்மையில், பூமியின் அச்சுக்கும் ஊசிலியின் இயக்கத் திசைக்கும் செங்குத்தான திசையில்தான் காரியாலிஸ் விசை செயல்படுகிறது. இன்னொருவிதமாகக் கூறினால், விசை ஊசிலியின் அலைவு தளத்துக்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படுகிறது. ஆகவே இவ்விசையானது இத்தளத்தைத் தொடர்ந்து சுழலச் செய்கிறது. ஊசிலியின் நுனி இயக்கத்தின் எறிபாதையை வரைபடமிட்டுக் காட்டும்படியாக ஏற்பாடு செய்ய முடியும். இந்த எறிபாதை படம் 27ல் காட்டியிருக்கிறபடி ஒரு ''பூவிழைவரையால்'' (Rosette) குறித்துக் காட்டப்படுகிறது. ஊசிலியின் அலைவு நேரத்தைப் போல் ஒன்றரை மடங்கு நேரத்தில் ''பூமி'' அதன் முழுச் சுற்றில் கால் பகுதியை முடித்திருக்கிறது என்பதைப் படத்திலிருந்து நாம் அறிய முடிகிறது. போகால்ட் ஊசிலி இதைவிட இன்னும் மெதுவாகச் சுற்றுகிறது. துருவத்திலிருக்கையில் ஊசிலியின் அலைவு தளமானது ஒரு



படம் 27

நிமிடத்தில் $^1/_4$ பாகை அளவே சுற்றுகிறது. அலைவு தளமானது வட துருவத்தில் ஊசலியின் பாதைக்கு வலப்புறமாகவும் தென் துருவத்தில் அதற்கு இடப்புறமாகவும் சுழல்கிறது.

புவி நடுக்கோட்டைக் காட்டிலும் மத்திய ஐரோப்பியக் குறுக்கைக் கோடுகளில் காரியாலிஸ் விளைவு சிறிது குறைவாக இருக்கும். உதாரணமாக, நாம் சற்று முன்னர் குறிப்பிட்ட மாதிரிக்கணக்கீட்டை இங்கேயும் செய்து பார்த்தால் துப்பாக்கிக் குண்டு 3.5 செ.மீ தூரம் விலக்கப்படாமல் 2.5 செ.மீ தூரமே விலக்கப்படுவதை நாம் அறியமுடியும். போகால்ட் ஊசலி ஒரு நிமிடத்தில், ஒரு பாகையில் 1/6 பகுதியே திருப்பப்படுகிறது.

துப்பாக்கி வீரர் ஒருவர் காரியாலிஸ் விளைவை மனதில் கொள்வது அவசியமா? முதல் உலகப் போரின் போது பாரிசைத் தாக்குவதற்காகச் செர்மானியர்களால் உபயோகப்படுத்தப்பட்ட தொலை வீச்சுடைய பெரிய பீரங்கி இலக்கிலிருந்து 110 கி.மீ தூரத்தில் அமையப் பெற்றிருந்தது. இவ்வுதாரணத்தில் காரியாலிஸ் விலக்கமானது 1600 மீட்டர் ஆக இருக்கும் அளவுக்கு அதிகமாயிருக்கிறது. இவ்விலக்கம் குறைந்த அளவுடையது என நாம் கூற முடியாது.

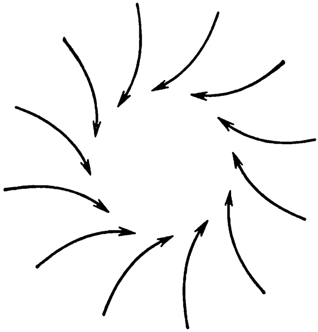
காரியாலிஸ் விசையைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளாமல், அதிக வேகத்துடன் செல்கிற ஒரு எறிபொருளை அனுப்பினுல் எதிர்பார்த்த பாதையிலிருந்து அது குறிக்கத்தக்க வகையில் விலக்கப்பட்டிருக்கும். இவ்விளைவு பெரிதாயிருப்பது, செயல்படுகிற விசை பெரியது என்ப

தால் அல்ல (ஏனெனில் 10 டன் எடையை உடைய ஒரு எறிபொருள் 1000 கி.மீ/மணி என்ற வேகத்துடன் செல்லும் பொழுது, உண்டாகிற காரியாலிஸ் விசை கிட்டத்தட்ட 25 கி.கி.வி ஆகும்); இவ்விசை தொடர்ந்து நீண்ட நேரம் செயல்படுவதே இதற்கான காரணமாகும்.

ராக்கெட் இயக்கத்தின் போது காற்று முக்கிய விளைவை ஏற்படுத்துகிறது. ஒரு விமானியால் செய்யப்படுகிற பறத்தல் ''திருத்தங்கள்'' காற்றின் செயல்பாடு, காரியாலிஸ் விளைவு, மற்றும் விமானம் அல்லது பறக்கும் குண்டில் உள்ள குறைபாடுகள் ஆகியவற்றைச் சார்ந்திருக்கின்றன.

வானூர்தியாளர்கள், துப்பாக்கி வீரர்கள் ஆகியவர்களைத் தவிர வேறு எந்தத் துறையைச் சேர்ந்த வல்லுநர்கள் காரியாலிஸ் விளைவைப் பற்றி அறிந்திருக்க வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது? இத்தகைய வல்லுநர்களின் பட்டியலில் இரயில்வே தொழிலாளிகளும் அடங்கியிருப்பது ஆச்சரியமானதாக இருக்கலாம். காரியாலிஸ் விசையின் செயற்பாட்டினால் ரயில் பாதையில் ஒரு தண்டவாளத்தைக் காட்டிலும் மற்றொன்று நாம் கவனிக்கக் கூடிய அளவுக்கு உட்புறமாக அதிகமாகத் தேய்வுறுகிறது. இவ்வாறு அதிகத் தேய்வுறும் தண்டவாளம் எது என்பதை நாம் சொல்லலாம். வடக்கு அரைக் கோளத்தில் இது வலப்புறத் தண்டவாளமாகவும் (இரயிலின் இயக்கத்துக்குச் சார்பாக), தெற்கு அரைக் கோளத்தில் இடப்புறத் தண்டவாளமாகவும் இருக்கிறது. நில நடுக்கோட்டின் மீது அமைந்துள்ள நாடுகளில் உள்ள இரயில்வே தொழிலாளிகள் மட்டுமே இத்தகைய பிரச்சனைகளிலிருந்தும் விடுவிக்கப்பட்டுள்ளனர்.

வடக்கு அரைக் கோளத்தில், ரயில் தண்டவாளத்தின் தேய்வு விவரிக்கப்பட்ட அதே காரணங்களாலேயே ஆறுகளின் வலது பக்கக் கரைகள் அடித்துச் செல்லப்படுவதும் விளக்கப்படுகிறது. ஆற்றுப் படுக்கைகளின் விலக்கமும்



படம் 28



படம் 29

அதிக அளவில் காரியாலிஸ் விசைகளின் செயற்பாட்டுடன் தொடர்பு கொண்டிருக்கிறது. வடக்கு அரைக் கோளத்தில், ஆறுகள் தடைகளை வலப்புறமாகக் கடந்து செல்கின்றன என்பது தெரிய வருகிறது.

ஒரு குறைந்த அழுத்தப் பகுதியினுள் காற்றொழுக்குப் பாய்ந்து செல்கிறது என்பது நாமறிந்ததே! ஆனால் இத்த கைய காற்று ஏன் சூறாவெளி என்று அழைக்கப்படுகிறது? இச்சொல்லின் மூலம் ஒரு வட்ட (சுழல்) இயக்கத்தைக் குறிக்கிறது.

இதன் விளக்கம் கீழ்வருமாறு: ஒரு குறைந்த அழுத்தப் பகுதியில் காற்றின் வட்ட இயக்கம் தோன்றுகிறது (படம் 28) காரியாலிஸ் விசையின் செயற்பாடே இதற்கான காரண மாக அமைகிறது. வடக்கு அரைக்கோளத்தில், குறைந்த அழுத்தப் பகுதியை நோக்கிய எல்லா காற்றொழுக்குகளும் அவற்றின் இயக்கத்துக்கு வலப்புறமாக விலக்கப்படுகின்றன. படம் 29 ஐச் சற்று பார்க்கவும், இரு அரைக் கோளங்களி

லும், வெப்பப் பிரதேசத்திலிருந்து நில நடுக்கோட்டை நோக்கி வீசுகிற காற்றுகள் (வியாபாரக் காற்றுகள்) மேற்கு நோக்கி விலக்கப்படுவதற்கு இதுவகை செய்வதை நாம் பார்க்கலாம்.

ஆனல் ஆத்தகைய சிறு விசை காற்று ஒழுக்குகளின் இயக்கத்தில் ஏன் ஒரு பெரு விளைவை ஏற்படுத்துகிறது?

உராய்வு விசைகளின் முக்கியத்துவமின்மையினுல் இது விளக்கப்படுகிறது. காற்று மிக எளிதாக இயக்கக்கூடிய தாகையால் தொர்ந்து செயல்படுகிற சிறு விசையுங்கூட மிக முக்கியமான விளைவுகளுக்கு வழிவகுக்கிறது.

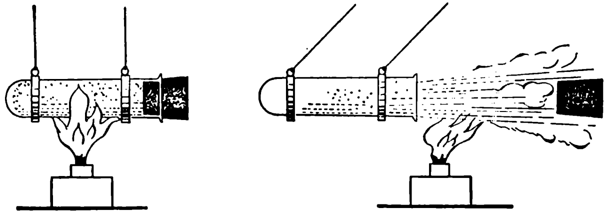
நான்கு

அழிவின்மை விதிகள்

பின் உதைப்பு (RECOIL)

துப்பாக்கியிலிருந்து குண்டு வேகமாகப் பாயும் பொழுது, அத்துப்பாக்கி எதேச்சையாகப் பின்னோக்கித் தள்ளப்படுகிறது என்பதைப் போர் செய்து பழக்கமில்லாதவர்கள் கூட அறிந்திருக்கக் கூடும். துப்பாக்கியிலிருந்து குண்டு வெளிச் செல்லும் பொழுது துப்பாக்கியை இயக்குகிறவரின் தோளில் ஒரு பின் உதைப்பு ஏற்படுகிறது. ஆனால் போராயுதங்களை உதாரணங்காட்டாமலேயே பின் உதைப்பின் இயற்பாடுகளை அறிமுகப்படுத்தவும் முடிகிறது. ஒரு சோதனைக் குழாயினுள் சிறிது நீரை ஊற்றி ஒரு தக்கையால் அதன் வாயை அடைத்து கிடைமட்டத்திலிருக்கும்படியாக, இரு நூல்களால் தொங்கவிடவும் (படம் 30). இப்பொழுது சோதனைக் குழாய்க்கு அடியிலிருக்கும் எரிப்பானை எரிய விடவும். தண்ணீர் கொதிக்க ஆரம்பித்து, ஓரிரு நிமிடங்களில் தக்கை ஒரு திசையில் வேகமாகப் பறக்கும். அதே நேரத்தில் சோதனைக் குழாய் எதிர்த் திசையில் தள்ளப்படும்.

சோதனைக் குழாயிலிருந்து தக்கையை வெளியேற்றிய விசை நீராவியின் அழுத்தமையாகும். சோதனைக் குழாயைத் தள்ளுகிற விசையும் நீராவியின் அழுத்தமே! ஒரு விசையின் செயற்பாட்டினால் இரு இயக்கங்கள் எழுகின்றன. துப்



படம் 30

பாக்கியை இயக்கும் பொழுதும் இது போன்றே நிகழ்கிறது. இங்கு வினை நீராவியால் செயற்படுத்தப்படாமல் துப்பாக்கி மருந்தின் வாயுவால் செயல்படுத்தப்படுகிறது.

வினைக்கும் அதன் எதிர்வினைக்கும் இடையேயான சமத்துவக் கொள்கையின் தவிர்க்க முடியாத விளைவே பின் உதைப்பின் இயற்பாடு ஆகும். நீராவி, தக்கையின் மீது எதிர்த் திசையில் செயல்படுகிறது. அதே நேரத்தில் நீராவி இந்த எதிர்வினையைச் சோதனைக் குழாய்க்குக் கடத்துகிறது.

ஆனால் ஒரு வேளை கீழ்வரும் மறுப்பு எண்ணம் ஒருவர் மனதில் தோன்றலாம். ஒரே விசை இத்தகைய முற்றிலும் மாறுபட்ட விளைவுகளுக்குக் காரணமாயிருக்க முடியுமா? துப்பாக்கி சிறிதளவே பின்னேக்கி அசைகிறது. ஆனால் துப்பாக்கிக் குண்டோ, வெகு தூரத்திற்குப் பாய்ந்து செல்கிறது. இருப்பினும் இத்தகையதொரு மறுப்பு எண்ணம் வாசகர்களுக்குத் தோன்றியிருக்காது என நாம் நம்புகிறோம் சர்வசமமான இரு விசைகள் நிச்சயமாக மாறுபட்ட விளைவுகளுக்கு வழிவகுக்க முடியும். ஏனெனில், ஒரு பொருள் அடைகிற முடுக்கம் (விசையின் செயல் விளைவு இதுவேயாகும்) அதன் பொருண்மைக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. பொருட்களில் ஒன்றின் (துப்பாக்கிக் குண்டு, தக்கை) முடுக்கத்தை $a_1=\frac{F}{m_1}$ என்னும் வடிவில் நாம் எழுத வேண்டும். பின் உதைப்பைப் பெறுகிற பொருளின் (துப்பாக்கி,

சோதனைக் குழாய்) முடுக்கம் $a_2=\frac{F}{m_2}$ ஆகும். ஆனால் இவ்விரு சமன்பாடுகளில் வரும் விசைகள் சமமானவைகளாய் இருப்பதால், நாம் ஒரு முக்கியமான முடிவுக்கு வருகிறோம். ஒரு துப்பாக்கிச் சூட்டில் பங்கேற்கிற பொருள்களுக்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டினால் ஏற்படுகின்ற முடுக்கங்கள் அவற்றின் பொருண்மைகளுக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கின்றன:

$$\frac{a_1}{a_2}=\frac{m_2}{m_1}$$

ஒரு துப்பாக்கி பின் உதைப்பைப் பெறும் பொழுது அடைகிற முடுக்கமானது, துப்பாக்கிக் குண்டைப் போன்று துப்பாக்கி எத்தனை மடங்கு அதிக எடையைக் கொண்டிருக்கிறதோ, அத்தனை மடங்கு துப்பாக்கிக் குண்டின் முடுக்கத்தைவிடக் குறைவாயிருக்கும் என்பதே இதன் பொருளாகும்.

துப்பாக்கிக் குண்டின் முடுக்கம், பின் அசைவின் போது ஏற்படுகிற துப்பாக்கியின் முடுக்கம் ஆகியவை குண்டு துப்பாக்கியின் வாய் முகப்பிலிருந்து வெளிவரும் வரைதான் நிலைத்திருக்கின்றன. இந்த நேரத்தை t எனக் குறிப்போம். இந்த நேரத்துக்குப் பின்னர் முடுக்கப்பட்ட இயக்கம் சீராகிறது. கணக்கீடு எளிதாயிருப்பதற்காக, முடுக்கத்தை மாறிலியாக எடுத்துக் கொள்வோம். துப்பாக்கியின் வாய் முகப்பிலிருந்து வெளிவரும் போது குண்டின் வேகம் $v_1=a_1t$ ஆகும். அதே நேரத்தில் பின் அசைவின் வேகம் $v_2=a_2t$ ஆக இருக்கிறது. முடுக்கங்கள் நிலைத்திருக்கும் நேர இடைவெளிகள் சமமாயிருப்பதால் **131**

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{a_1}{a_2}$$

ஆகவே

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{m_2}{m_1}$$

செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டுக்குப் பின்னர், பொருட்கள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று விலகிச் செல்லும் வேகங்கள் அவற்றின் பொருண்மைகளுக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கின்றன.

திசைவேகத்தின் திசையுளித் தன்மையை நாம் நினைவுக்குக் கொண்டு வந்தால், மேலே இறுதியாகக் கண்ட சமன்பாட்டைக் கீழ்கண்டவாறு மாற்றி எழுத முடியும்: $mv_1 = -mv_2$; v_1, v_2 ஆகிய திசைவேகங்கள் எதிர்த் திசைகளில் அமைந்திருப்பதைச் சமன்பாட்டில் வரும் எதிர்க்குறியீடு காட்டுகிறது.

பொருண்மை, திசைவேகம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனை ஒரு பக்கத்துக்குக் கொண்டு வந்து, முடிவாக நம் சமன்பாட்டை இன்னொரு முறை திருத்தி எழுதுவோம்:

$$mv_1 + m_2v_2 = 0$$

உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி

ஒரு பொருளின் பொருண்மை, திசைவேகம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனே அப்பொருளின் உந்தம் (momentum) (நேர்கோட்டியக்க உந்தம் என்பது இதன் மறு பெயராகும்) என அழைக்கப்படுகிறது. திசைவேகம் ஒரு திசையுளிக் கணியம் (vector quantity) ஆக இருப்பதால், உந்தமும் ஒரு திசையுளிக் கணியமாகும். உண்மையில் உந்தத்தின் திசையானது, இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற பொருளின் திசைவேகத்தின் திசையுடன் ஒன்றியிருக்கிறது.

நமது புதிய கொள்கையின் உதவியுடன் $F = ma$ என்னும் நியூட்டனின் விதியை வித்தியாசமான வடிவில் அறிவிக்க முடிகிறது. $a = \frac{v_2 - v_1}{t}$ ஆக இருப்பதால், $F = \frac{mv_2 - mv_1}{t}$ அல்லது $Ft = mv_2 - mv_1$ என நாம் எழுதலாம்.

விசை, அது செயல்படுகிற நேரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலன் அப்பொருளின் உந்த மாறுதலுக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

பின் உதைப்பின் இயற்பாட்டிற்கு நாம் திரும்புவோம்.

துப்பாக்கியின் பின் உதைப்பு பற்றிய நம் ஆராய்ச்சி முடிவுகளை இப்பொழுது மிகச் சுருக்கமாக வாய்ப்பாடு வடிவில் எழுத முடியும்; துப்பாக்கி இயக்கப்பட்ட பின்னர், துப்பாக்கி, குண்டு ஆகியவற்றின் உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகை பூச்சியத்துக்குச் சமமானதாயிருக்கிறது. துப்பாக்கி இயக்கப்படுவதற்கு முன்னரும், அதாவது துப்பாக்கியும் குண்டும் ஓய்வு நிலையில் இருந்த பொழுதும் இதேநிலைதான் நீடித்தது என்பது தெரிய வருகிறது.

$m_1v_1 + m_2v_2 = 0$ என்னும் சமன்பாட்டில் காணப்படுகிற திசைவேகங்கள், துப்பாக்கி இயக்கப்பட்டதை அடுத்து உடனேயே எழுந்த திசைவேகங்களாகும். இதைத் தொடர்ந்து, துப்பாக்கி, குண்டு ஆகியவற்றின் இயக்கங்களின் போது புவியீர்ப்பு மற்றும் காற்றுத் தடைகளின் விசைகள் அவற்றின் மீது செயல்படத் தொடங்கும். பூமி, துப்பாக்கியின் மேல் ஒரு கூடுதல் உராய்வு விசையைச் செயற்படச் செய்கிறது. ஆனுல் வெற்றிடத்தில் ஆதாரமின்றி தொங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு துப்பாக்கியிலிருந்து குண்டு வெளிபட்டுச் சென்ருல் v_1, v_2 ஆகிய திசைவேகங்களுடன் கூடிய இயக்கங்கள் குறிக்க முடியாத அளவுக்கு நீண்ட நேரம் தொடருகின்றன. துப்பாக்கி ஒரு திசையிலும், குண்டு அதற்கு எதிர்த் திசையிலும் இயங்குகின்றன.

மேடையின் மேல் துப்பாக்கியைப் பொருத்தி வைத்திருப்பதும் அம்மேடை இயங்கும் பொழுது துப்பாக்கியை இயக்குவதும் இன்றைய பீரங்கிப் படையில் பரவலாக உப

யோகப்படுத்தப்படும் பழக்கங்களாகும். இப்படிப்பட்ட துப்பாக்கி ஒன்றிலிருந்து குண்டு வெளிச்செல்லும் போது, நாம் மேலே தருவித்த சமன்பாடு பயன்பட வேண்டுமாயின் நாம் அதை எவ்வாறு மாற்றியமைக்க வேண்டும்?

$$m\mathbf{u}_1 + m\mathbf{u}_2 = 0$$

என நாம் எழுதலாம். இங்கு $\mathbf{u}_1$, $\mathbf{u}_2$ ஆகியவை முறையே இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மேடைக்குச் சார்பாக துப்பாக்கி குண்டு ஆகியவற்றின் திசைவேகங்களாகும். மேடையின் திசைவேகம் $\mathbf{V}$ என்றிருப்பின், ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் காட்சிப்பதிவு செய்யவர் ஒருவருக்குச் சார்பாக, துப்பாக்கி, குண்டு ஆகியவற்றின் திசைவேகங்கள் $\mathbf{v}_1 = \mathbf{u}_1 + \mathbf{V}$; $\mathbf{v}_2 = \mathbf{u}_2 + \mathbf{V}$ என்று ஆகின்றன.

முந்திய சமன்பாட்டில் $\mathbf{u}_1$, $\mathbf{u}_2$ ஆகியவற்றுக்காக மாற்றீடு செய்தால்

$$(m_1 + m_2)\,\mathbf{V} = m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2$$

என்னும் சமன்பாட்டை நாம் பெறுகிறோம்.

துப்பாக்கியை இயக்கிய பின் துப்பாக்கி, குண்டு ஆகியவை பெறுகிற உந்தங்களின் கூட்டுத்தொகையையே நாம் சமன்பாட்டின் வலக்கைப் பக்கத்தில் கொண்டிருக்கிறோம். இடக்கைப் பக்கத்தில் இருப்பது என்ன? துப்பாக்கி இயக்கப்படுவதற்கு முன்னர், $(m_1 + m_2)$ என்னும் மொத்தப் பொருண்மையுடைய துப்பாக்கி, குண்டு ஆகிய இரண்டும் $\mathbf{V}$ என்னும் திசைவேகத்துடன் சேர்ந்து இயங்குகின்றன. ஆகவே சமன்பாட்டின் இடக்கைப் பக்கத்திலும் துப்பாக்கி, குண்டு ஆகியவற்றின் மொத்த உந்தமே இருக்கிறது. ஆனால் இது துப்பாக்கி இயக்கப்படுவதற்கு முன்னர் இருந்ததாகும்.

உந்தத்தின் **அழிவின்மை விதி** என அழைக்கப்படும் ஒரு முக்கியமான இயற்கையின் விதியை நாம் இங்கு நரூபித்தி

ருக்கிறோம். பொருட்களின் எண்ணிக்கை எதுவாயிருப்பினும் இம்முடிவு மாறாமலிருக்கும் என்பதை நாம் மிக எளிதில் நிரூபிக்க முடியும். இவ்விதியின் பொருளடக்கம் என்ன என் பதைப் பற்றிப் பார்ப்போம். செயலெதிர்ச் செயற்படும் பொருட்கள் பலவற்றின் மொத்த உந்தம், இச்செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டின் விளைவினால் மாறாமலிருக்கிறது என்பதை உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி அறுதியிட்டுக் கூறுகிறது.

நம் பரிசீலனைக்குட்பட்ட பொருள்களின் தொகுதியின் மீது புற விசைகள் செயற்படாமலிருக்கும் போது மட்டுமே உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி செல்லுபடியாகிறது என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. இத்தகையதொரு பொருட்களின் தொகுதியானது, இயற்பியலில் மூடிய தொகுதி என அழைக்கப்படுகிறது.

துப்பாக்கி இயக்கப்படும் பொழுது துப்பாக்கியும் குண் டும் பூமியின் ஈர்ப்பு விசைக்கு உட்படுத்தப்படுவது உண்மையாயிருப்பினும்கூட, அவை இரு பொருட்களாலா கிய மூடிய தொகுதியின் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. துப்பாக்கி மருந்தின் வாயு ஏற்படுத்துகிற விசையுடன் ஒப் பிடும் பொழுது குண்டின் எடை மிகக் குறைந்ததே! பூமியின் மேல் இருந்து கொண்டோ அல்லது விண்வெளி யின் ஊடே பறந்து கொண்டிருக்கும் ஒரு ராக்கெட்டில் இருந்து கொண்டோ அல்லது வேறு எங்கிருந்து கொண்டு துப்பாக்கியை இயக்கினாலும், பின் அசைவின் இயற்பாடு ஒரே விதிக்குட்பட்டே நடைபெறுகிறது.

மோதும் பொருட்களுடன் சம்பந்தப்பட்ட பல பிரச் னைகளை எளிதில் தீர்ப்பதற்கு உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது. களி மண்ணால் செய்யப்பட்ட ஒரு பந்தை மற்றொன்றால் அடிக்க முயற்சிப்போம். அவை ஒன்றோடொன்று ஒட்டிக் கொண்டு இணைந்தே இயக்கத் தைத் தொடர்கின்றன. மரத்தாலான ஒரு பந்தை நோக்

கித் துப்பாக்கியால் சுட்டால், தன்னுள் புதைந்திருக்கும் குண்டுடன் சேர்ந்து அப்பந்து உருளும். ஓடிக் கொண்டிருக்கும் ஒருவர் நின்று கொண்டிருக்கும் ஒரு வண்டியினுள் குதித்தாரேயானுல், வண்டி உருளும். இயற்பியலின் நோக்கு நிலையிலிருந்து கவனித்தால், மேலே தந்த உதாரணங்கள் யாவும் ஒரு வகைப்பட்டனவாய் இருக்கின்றன. இவ்வகைப்பட்ட மோதல்களில் ஈடுபட்ட பொருட்களின் திசைவேகங்களைச் சம்பந்தப்படுத்துகிற விதியை, உந்தத்தின் அழிவின்மை விதியிலிருந்து உடனேயே பெறமுடிகிறது.

மோதுகைக்கு முன்னர் பொருட்களின் உந்தங்கள் முறையே m_1v_1, m_2v_2 என்றிருந்தன. மோதுகைக்குப் பின்னர் அவ்விரு பொருட்களும் சேர்ந்து விட்டன. அவற்றின் மொத்தப் பொருண்மை $(m_1 + m_2)$ க்குச் சமமாக இருக்கிறது. இரு பொருட்களும் இணைந்தாலான பொருளின் திசைவேகத்தை V எனக் குறித்தால்,

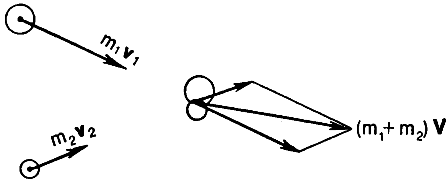
$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2) V$$

அல்லது

$$V = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

என நாம் எழுதலாம்.

உந்தத்தின் அழிவின்மை விதியின் திசையுளிப் பண்பை நாம் நினைவுக்குக் கொண்டு வருவோம். சூத்திரத்தின் மேல் இலக்கக்கூற்றில், இருக்கிற mv ஆகிய உந்தங்களை திசையுளிகளைப் போன்று கூட்ட வேண்டும். ஒன்றுக்கொன்று ஒரு கோணத்தில் சென்று கொண்டிருந்த இரு பொருட்கள் சந்திக்கும் பொழுது ஏற்படுகிற ''சேர்க்கை'' மோதுகை படம் 31ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. வேகத்தின் மதிப்பை அறிய வேண்டுமாயின், மோதுகிற பொருட்களின் உந்தங்



படம் 31

களின் திசையுளிகளால் அமைக்கப்பட்ட இணைகரத்தின் மூலை விட்டத்தின் நீளத்தை அப்பொருட்களின் பொருண்மைக ளின் கூட்டுத்தொகையால் வகுக்க வேண்டும்.

கூர்நுனித்தாரையின் முன்தள்ளல்

பூமிக்கு எதிராகத் தள்ளுவதன் மூலம் ஒருவர் அசைகிறார். படகோட்டுபவர்கள் படகுத் துடுப்புகளைத் தண்ணீருக்கு எதிராகத் தள்ளுவதன் மூலம் படகு நகர்ந்து செல்கிறது. கப்பலும், துடுப்புகளின்றி, அதன் முன்தள்ளிகளினால் (propellers) தண்ணீருக்கு எதிராகத் தள்ளி நகர்கிறது. ரயில் தண்டவாளங்களில் ஓடுகிற இரயில் வண்டியும் சாலையில் ஓடுகிற மோட்டார் வண்டியும் பூமிக்கு எதிராக அழுத்தியே நகர்ந்து செல்கின்றன. ஒரு பனிக்கட்டிப் பாதையின் மீது மோட்டார் வண்டியை ஓடச் செய்வதற்கு எவ்வளவு கடினமாயிருக்கும் என்பதை ஞாபகப்படுத்திப் பார்க்கவும்.

ஆகவே ஒரு ஆதரவுக்கு எதிராக அழுத்துதலே, இயக்கத்துக்கு அவசியமான ஒரு நிபந்தனையாகத் தோன்றுகிறது. ஆகாய விமானங்கள் கூட அதன் முன்தள்ளிகளினால் காற்றைத் தள்ளுவதன் மூலமாகவே பறக்கிறது.

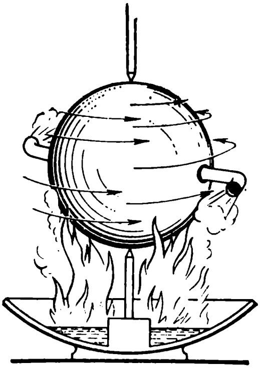
நகரச் செய்வதற்கு உண்மையில் இது மிக அவசியம் தானா என்ற கேள்வி எழலாம். ஒரு ஆதாரத்துக்கு எதிராகத் தள்ளாமல், இயங்கச் செய்யக் கூடிய கடுஞ்சிக்கலான வழி

கள் எதுவும் இல்லையா? ஒருவர் பனிச்சறுக்கு விளையாடினால் அந்த அனுபவத்தின் அடிப்படையில், இத்தகைய இயக்கம் முற்றிலும் சாத்தியமானதுதான் என நம்பி விடுவார். அடுத்த கம்பு ஒன்றை எடுத்துக்கொண்டு பனிக்கட்டியில் கால் எடுத்து வைக்கவும். கம்பை முன்னோக்கி ஊன்றவும்? இப்பொழுது என்ன நிகழ்கிறது? நம் காலால் பனிக்கட்டிக்கு எதிராக அழுத்த வேண்டும் என்னும் எண்ணம் நம் மனதிலிருந்து செயலாக்கத்துக்குச் செல்லு முன்னரே நாம் வழுக்கிப் பின்னோக்கித் தள்ளப்படுகிறோம்.

ஆதாரவு இல்லாமலும் தள்ளல் இல்லாமலும் இயக்கத்தை ஏற்படுத்துவதற்கு வேண்டிய தடயத்தை நாம் சற்று முன்னர் பயின்ற ''பின்தள்ளலின்'' இயற்பாடு நமக்குத் தருகிறது. எதிர்த்துத் தள்ளுவதற்குத் தேவையான பொருள் ஒன்றும் இல்லாத ஒரு வெற்றிடத்தில்கூட இயக்கத்தை முடுக்குகிற சாத்தியக்கூற்றை ''பின்தள்ளல்'' ஏற்படுத்துகிறது.

ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து வெளியேற்றப்படக்கூடிய நீராவியின் கூர்நுனித்தாரையால் ஏற்படுத்தப்பட்ட பின் தள்ளல் (பீச்சின் எதிர்வினை) மிகப் பழங்காலத்திலேயே விநோதமான விளையாட்டு பொம்மைகளைச் செய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்பட்டது. கி.மு இரண்டாம் நூற்றாண்டு காலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒரு பழமையான நீராவிச் சுழலி படம் 32ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. கோள வடிவக் கொப்பரை ஒன்றை ஒரு நிலைக்குத்தான அச்சு தாங்கியிருக்கிறது. கொப்பரையிலிருந்து முழங்கை வடிவத்தில் வளைந்த குழாய்களின் வழியே வெளியேறுகிற நீராவி அதற்கு எதிர்த் திசையில் இக்குழாய்களைத் தள்ளின. இதனால் கோளம் சுழன்றது.

கூர்நுனித்தாரையின் முன்தள்ளல் விளையாட்டுப் பொம்மைகளைச் செய்வதற்கும் கவனத்தைக் கவருகிற காட்சிப்ப



படம் 32

திவுகளைச் சேகரிப்பதற்கும் உபயோகப்படுத்தப்பட்ட காலம் மாறி, இன்றைய காலத்தில் அவற்றிற்கப்பால் பல சூழ்நிலைகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இருபதாம் நூற்றுண்டு, சிலநேரங்களில் அணுச்சக்தியின் நூற்றுண்டு என அழைக்கப்படுகிறது. ஆனல் இனிக் கூர்நுனித்தாரையின் முன்தள்ளல் நூற்றுண்டு என அழைப்பதற்கும் தகுந்த காரணங்கள் பல இருக்கின்றன. ஏனெனில் சக்தி வாய்ந்த கூர்நுனித்தாரை இயந்திரங்களின் உபயோகங்களாலான பல முக்கிய விளைவுகளை மிக அரிதாகவே மிகைப்படுத்திக் கூற இயலும். இது வான ஊர்திகளை அமைப்பதில் புரட்சியை ஏற்படுத்துவதோடு மட்டும் நிற்காமல், பிரபஞ்சம் முழுவதுடனும் மனித இனம் ஏற்படுத்த முனையும் தொடர்பின் தொடக்கமாகவும் அமைகிறது.

மணிக்குப் பல ஆயிரக்கணக்கான கிலோமீட்டர் தூரம் செல்லக் கூடிய விமானங்கள், பூமிக்கு மேல் நூற்றுக்கணக்கான கிலோமீட்டர் உயரத்துக்கு எழும்பக் கூடிய பறக்கும் ஏவுகணைகள், பூமியின் செயற்கை துணைக் கோள்கள், விண்வெளிப் பயணங்களை மேற்கொள்ளுகிற ராக்கெட்டுகள் ஆகியவற்றை அமைப்பதற்குக் கூர்நுனித்தாரை முன்தள்ளலின் தத்துவம் நமக்கு உதவுகிறது.

எரி பொருள் எரிக்கப்படுவதனுல் ஏற்படுகிற வாயுக்கள் மிக அதிக விசையுடன் வெளியேற்றப்படுகிற அமைப்பைக் கொண்ட ஒரு இயந்திரமே கூர்நுனித்தாரை மோட்டாராகும். வாயுப் பிரலாகம் செல்கிற திசைக்கு எதிர்த்திசையில் ராக்கெட்டு செல்கிறது.

ராக்கெட்டை விண்வெளியில் செலுத்தும் அழுத்தம் (thrust) எவ்வளவு பலமானது? என்பதை அறிய நாம் அதிக ஆவலுடன் இருக்கலாம். ஒரு விஞடியில் ஏற்படும் உந்தத்தின் மாறுதலே விசையாகும் என்பதை நாமனைவரும் அறிவோம். நம் அழிவின்மை விதியின்படி, வெளியேற்றப் பட்ட வாயுவின் மொத்த உந்தமாகிய mv அளவு ராக் கெட்டின் உந்தம் மாறுதலையடைகிறது.

உதாரணமாக, கூர்நுனித்தாரை முன்தள்ளலின் விசைக் கும், இதற்குத் தேவையான எரிபொருள் செலவுக்கும் இடையேயான சம்பந்தத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு இயற்கையின் இவ்விதி நமக்கு உதவுகிறது. இவ்வாறு செய்யும் பொழுது எரிதலினுல் உண்டாகும் உற்பத்திப் பொருட்கள் வெளி யேற்றப்படும் வேகத்தின் மதிப்பை நாம் தற்கோள் கொள்ள வேண்டியது அவசியமாகிறது. உதாரணமாக, 2000 மீ/விஞடி என்னும் வேகத்துடன் 1 விஞடிக்கு 10 டன்கள் வீதம் வாயுக்கள் வெளியேற்றப்படுகின்றன என எடுத்துக் கொள்வோம். இப்படியாஞல், கூர்நுனித்தாரை முன்தள்ளலின் விசையானது கிட்டத்தட்ட 2×10^{12} டைன்கள் அதாவது சற்றேறக்குறைய 2000 டன் வி ஆகும்.

இனி, விண்வெளியில் சென்று கொண்டிருக்கிற ஒரு ராக்கெட்டின் வேகமாறுதலைக் கணக்கிடுவோம்.

u என்னும் வேகத்துடன் வெளியேற்றப்படுகிற ΔM என்னும் பொருண்மையுடைய வாயுவின் உந்தம் $u\cdot\Delta M$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. அதே நேரத்தில் M என்னும் பொருண்மையுடைய ராக்கெட்டின் உந்தம் $M\cdot\Delta v$ அளவு அதிகரிக்கிறது. நம் அழிவின்மை விதியின்படி, இவ்விரு அள வுகளும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாயிருக்க வேண்டும்:

$$u\cdot\Delta M=M\cdot\Delta v, \text{ அதாவது}$$

$$\Delta v=\frac{u\cdot\Delta M}{M},$$

ஆயினும், வெளியேற்றப்பட்ட வாயுவின் பொருண்மை, ராக்கெட்டின் பொருண்மையுடன் ஒப்பிடும் அளவுக்கு அதிகமாக இருக்கும் பொழுது நாம் ராக்கெட்டின் வேகத்தைக் கணக்கிட விரும்பினுல், மேலே தருவித்த சூத்திரம் உபயோகமற்றதாகத் தோன்றுகிறது. உண்மையில் இச்சூத்திரம், ராக்கெட்டின் பொருண்மை மாறிலியாக இருக்கிறது என்னும் தற்கோளின் அடிப்படையில் தருவிக்கப்பட்டது. ஆயினும், பொருண்மையில் ஏற்படுகிற சமமான சார்பு மாறுதல்கள் ஒரே வேகமாறுதலையே ஏற்படுத்துகிறது என்னும் முக்கிய முடிவு இன்னும் செல்லுபடியாகிறது. ராக்கெட்டின் பொருண்மை பாதியாகக் குறைக்கப்படும் பொழுது அதன்வேகம் $0.7u$ ஐ எட்டுகிறது என்பதைச் சரியான சூத்திரத்தின் உதவியால் செய்யப்பட்ட கணக்கீடு காட்டுகிறது.

ராக்கெட்டின் வேகத்தை $3u$ ஆக அதிகரிக்க வேண்டுடுமாயின் $m=\frac{19}{20}M$ அளவுள்ள பொருண்மையை எரிக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. அதன் வேகத்தை $3u$ ஆக, அதாவது 6—8 கி.மீ/விஞடியாக அதிகரிக்க விரும்பினுல், ராக்கெட்டின் பொருண்மையில் 20ல் ஒரு பகுதியே எஞ்சியிருக்க முடியும் என்பதே இதன் அர்த்தமாகிறது.

$7u$ என்னும் வேகத்தை அடைய வேண்டுமானுல், வேகம் அதிகரிக்கும் நேரத்தில், ராக்கெட்டின் பொருண்மை 1000 மடங்கு குறைய வேண்டியதிருக்கிறது.

இக்கணக்கீடுகள், ராக்கெட்டில் ஏற்றக்கூடிய எரிபொருளின் பொருண்மையை அதிகமாக்கும் முயற்சிக்கு எதிராக நம்மை எச்சரிக்கிறது. நாம் அதிகமான எரிபொருளை எடுத்துச் செல்வோமானுல், அதிகமான எரிபொருளை எரிக்க வேண்டியதிருக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்தில் வாயு வெளியேற்றப்படும் பொழுது ராக்கெட்டின் வேகத்தை அதிகரிப்பது மிகக் கடினமாயிருக்கிறது.

வெளித்தள்ளப்படுகிற வாயுவின் வேகத்தை அதிகரிப்பதே, ராக்கெட்டு அதிக வேகத்தை அடைவது பற்றிய சிக்கலின் அடிப்படையாகும். இவ்வகையில் புதிய அணு எரிபொருள்களால் இயக்கப்படுகிற இயந்திரங்களைக் கொண்டுள்ள ராக்கெட்டுகளை முக்கியமாகப் பங்கேற்கச் செய்வது அவசியமாகிறது.

வாயு வெளித்தள்ளப்படும் வேகம் மாறிலியாக இருக்கும் பொழுது, பலபடி ராக்கெட்டுகளை உபயோகிப்பதன் மூலம், ஒரே அளவிலான எரிபொருளின் பொருண்மையைக் கொண்ட வேகத்தை அதிகரிக்க முடிகிறது. ஒருபடி ராக்கெட்டில் எரிபொருளின் பொருண்மை குறைவாக இருக்கிறது. ஆனால் அதே நேரத்தில், காலியான எரிபொருள் தொட்டிகள் ராக்கெட்டுடன் சேர்ந்து பயணத்தைத் தொடர்கிறது. அவசியமில்லாத காலியான எரிபொருள் தொட்டிகளின் பொருண்மையை முடுக்குவதற்குக் கூடுதல் ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. உபயோகப்படுத்தப்பட்ட எரிபொருளைத் தாங்கி வந்த தொட்டிகளை ராக்கெட்டிலிருந்து எறிந்து விடுதல் மிகச் சிறந்த வழியாகும். நவீன பலபடி ராக்கெட்டுகளில் எரிபொருள் தொட்டிகளும் குழாயமைப்புகளும் மட்டுமின்றி உபயோகப்படுத்திய படிகளின் இயந்திரங்களும் வெளியே எறியப்படுகின்றன.

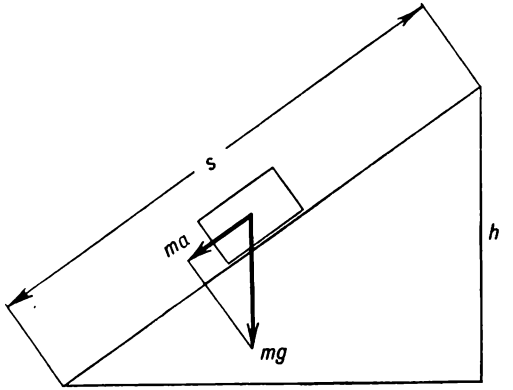
உண்மையில், ராக்கெட்டில் இருக்கும் தேவையற்ற பொருண்மைகளைத் தொடர்ச்சியாக எறிந்து கொண்டேயிருப்பது மிகவும் சிறந்த முறையாகும். இத்தகைய அமைப்பு இன்னும் செயற்பாட்டுக்குக் கொண்டு வரப்படவில்லை. நிலத்திலிருந்து எழும் போது மூன்றுபடி ராக்கெட்டு ஒன்று கொண்டிருக்கும் எடையை, அதே "கூரையையுடைய" ஒருபடி ராக்கெட்டின் எடையைக் காட்டிலும் 6 மடங்கு குறைவாக இருக்கும்படி அமைக்கலாம். இக்கருத்தின்படி, மூன்றுபடி ராக்கெட்டு ஒன்றைக் காட்டிலும் "தொடர்ச்சியான" ஒரு ராக்கெட்டு 15% கூடுதல் இலாபகரமானதாயிருக்கும்.

புவியீர்ப்புக்குட்படுத்தப்பட்ட இயக்கம்

மிகவும் வழவழப்பாயிருக்கிற இரு சாய்தளங்களிலிருந்து ஒரு சிறு வண்டியை உருளச் செய்வோம். ஒன்றுக்கொன்று நீளத்தில் குறைவாயிருக்கிற இரு பலகைகளை எடுத்துக் கொண்டு ஒரே ஆதாரத்தின் மேல் அவ்விரு பலகைகளையும் வைக்கவும். இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட சாய்தளங்களில் ஒன்று செங்குத்துச் சரிவு உடையதாகவும், மற்றொன்று சிறிதே சரிவானதாகவும் இருக்கின்றன. இரு பலகைகளின் உச்சிகளும் வண்டியின் ஆரம்ப இடங்களும் ஒரே உயரத்தி லேயே இருக்கின்றன. இவ்விரு சாய்தளங்களிலும், எந்தச் சாய்தளத்தின் மீது இறங்குகையில் வண்டி அதிக வேகத் தைப் பெறுகிறது என்பதை உங்களால் ஊகிக்க முடிகி கிறதா? செங்குத்தான சரிவுப் பலகையின் மீது கீழ் நோக்கி உருளுகின்ற பொழுதுதான் வண்டி அதிக வேகத் தைக் கொண்டிருக்கும் எனப் பலர் முடிவு செய்யலாம்.

இவ்விரு உதாரணங்களிலும் வண்டிகள் ஒரே வேகத் தையே பெறும் என்பதையும் மேலே செய்யப்பட்ட ஊகங் கள் தவறானவை என்பதையும் ஒரு சோதனை காட்டுகிறது. ஒரு பொருள் சாய்தளம் ஒன்றின் மேல் இயங்குகிற பொழுது அதன் இயக்கக் கோட்டுத் திசையில் செயல்படு கிற புவியீர்ப்பு விசையின் ஆக்கக்கூறு எனப்படும் ஒரு மாறிலி விசையின் (படம் 33) செயற்பாட்டுக்கு இலக்காகி றது. s நீளமுள்ள பாதையில், a என்னும் முடுக்கத்துடன் இயங்குகிற ஒரு பொருள் அடைகிற வேகம் $v=\sqrt{2as}$ என்பது நாமனைவரும் அறிந்ததே!

ஆனால் இதன் எண்மதிப்பு தளத்தின் சாய்வுக் கோணத் தைப் பொறுத்ததல்ல என்பதை வெளிப்படையாகக் காட் டுவது எது? படம் 33ல் நாம் இரு முக்கோணங்களைப் பார்க் கிறோம். இவற்றில் ஒன்று சாய்தளத்தைப் பக்கமாகக்



படம் 33

கொண்டிருக்கிறது. இம்முக்கோணத்தின் சிறிய பக்கம் h எனக் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வுயரத்திலிருந்தே இயக்கம் தொடங்குகிறது. s என்னும் கர்ணமே பொருள் முடுக்கத்துடன் கடந்து செல்லும் பாதையாக அமைகிறது. ma, mg என்னும் முறையே சிறிய பக்கத்தையும், கர்ணத்தையும் கொண்ட ஒரு சிறிய விசை முக்கோணம், பெரிய முக்கோணத்துடன் வடிவில் ஒத்ததாயிருக்கிறது. ஏனெனில், இரண்டுமே செங்கோண முக்கோணங்களாயிருப்பதுடன், ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான பக்கங்களுக்கிடையேயான கோணங்களும் சமமாயிருக்கின்றன. ஆகவே சிறு பக்கங்களின் விகிதம், கர்ணங்களின் விகிதத்துக்குச் சமமாயிருக்க வேண்டும், அதாவது

$$\frac{h}{ma}=\frac{s}{mg} \text{ அல்லது } as=gh.$$

முதலில் பெருக்கற்பலனாகிய asம், பின்னர் இதன் காரணமாக ஒரு சாய்தளத்தின் மீது கீழ் நோக்கி உருளுகின்ற ஒரு பொருளின் முடிவு வேகமும் சாய்வுக்

கோணத்தைச் சார்ந்திராமல், கீழ் நோக்கிய இயக்கம் ஆரம்பமாகும் உயரத்தை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது என்பதை நாம் நிரூபித்திருக்கிருேம். இயக்கம் h என்னும் ஒரே உயரத்திலிருந்து தொடங்கியது என்னும் ஒரே நிபந்தனையுடன் கூடிய எல்லா சாய்தள இயக்கங்களின் முடிவு வேகமும் $v=\sqrt{2gh}$ என்ருகிறது. இவ்வேகமானது, h என்னும் உயரத்திலிருந்து சுயமாக விழுகிற ஒரு பொருளின் முடிவு வேகத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

சாய்தளத்தின் மீது h_1, h_2 என்னும் உயரங்களில் அமைந்துள்ள இரு இடங்களைக் கடந்து செல்லும் பொழுது பொருளின் வேகத்தை நாம் அளவிடுவோம். பொருள் முதல் புள்ளியைக் கடந்து செல்லுகையில் அதன் வேகத்தை v_1 எனவும் இரண்டாவது புள்ளியைக் கடந்து செல்லும் போது அதன் வேகத்தை v_2 எனவும் குறித்துக் கொள்ளவும்.

இயக்கம் h என்னும் ஆரம்ப உயரத்திலிருந்து தொடங்கிஞல், முதல் புள்ளியை அடையும்போது பொருளின் வேகத்தின் இருமடியானது (square) $v_1^2=2g(h-h_1)$ ஆகும். இரண்டாவது புள்ளியை அடையும் பொழுது $v_2^2=2g(h-h_2)$ ஆகும். இரண்டாவது சமன்பாட்டிலிருந்து முதல் சமன்பாட்டைக் கழிப்பதிலிருந்தும், ஒரு சாய்தளத்தின் ஏதேச்சையான ஒரு துண்டின் ஆரம்ப, முடிவுப் புள்ளிகளில் பொருளின் வேகங்கள், அப்புள்ளிகளின் உயரங்களுடன் எவ்வாறு சம்பந்தப்பட்டுள்ளன என்பதை நாம் கண்டு கொள்ளலாம்:

$$v_2^2-v_1^2=2g(h_1-h_2)$$

வேகங்களின் இருமடிகளுக்கிடையேயான வித்தியாசம் உயரங்களின் வித்தியாசத்தை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது.

நாம் அடைந்துள்ள சமன்பாடு மேல் நோக்கிய மற்றும் கீழ் நோக்கிய இயக்கங்கள் இரண்டுக்குமே சமமாகப் பயன்படக்கூடியது என்பதைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். முதல் உயரம் இரண்டாவது உயரத்தைக் காட்டிலும் குறைவானதாயிருந்தால் (ஏற்றம்) இரண்டாவது வேகம் முதல் வேகத்தைவிடக் குறைவானதாக இருக்கிறது.

இச்சூத்திரத்தைக் கீழ்வருமாறு திருத்தி எழுதலாம்:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{v_2^2}{2} + gh_2.$$

வேக இருமடியின் பாதி, gh என்னும் பெருக்கற்பலன் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகையானது, ஒரு சாய்தளத்தின் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் சர்வசமமாயிருக்கிறது என்பதை இச்சூத்திரப்பாட்டின் மூலம் நாம் விளக்கிக் கூற விரும்புகிறோம். $\frac{v^2}{2} + gh$ என்னும் கணியம் இயக்கத்தின் போது பாதுகாக்கப்படுகிறது என நாம் கூறலாம்.

மலை மீது அல்லது பொதுவாக, வேறுபட்ட சரிவுகளைக் கொண்ட ஏற்றங்களையும் இறக்கங்களையும் அடுத்தடுத்து கொண்டிருக்கிற பாதையின் மீது நடைபெறுகிற உராய்வற்ற இயக்கத்துக்கும் மேலே நாம் கண்ட விதி பொருந்துகிறது என்பதுதான் இவ்விதியின் மிக முக்கிய அம்சமாகும். எந்தப் பாதையையும் நேர்கோட்டுத் துண்டுகளாகப் பிரிக்க முடியும் என்ற உண்மையிலிருந்து இது தெரிய வருகிறது. துண்டுகளை எவ்வளவு சிறியதாய் எடுத்துக் கொள்கிறோமோ அந்த அளவுக்கு, துண்டுகளால் ஆகிய கோடு வளைகோட்டுடன் அதிகமாக ஒன்றியிருக்கிறது. வளைகோட்டுப் பாதையிலிருந்து துண்டித்து எடுக்கப்பட்ட ஒவ்வொரு நேர்கோட்டுப் பாதையையும் ஒரு சாய்தளத்தின் பகுதியாக எடுத்துக் கொண்டு நாம் கண்டறிந்த விதியை இவை ஒவ்வொன்றுக்கும் உபயோகப்படுத்தலாம்.

ஆகவே ஒரு எறிபாதையின் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் $\frac{v^2}{2} + gh$ என்னும் கூட்டுத்தொகை சமமாயிருக்கிறது. வேக இருமடியின் மாறுதல், பொருள் இயங்குகிற பாதையின் அமைப்பையோ அல்லது அதன் நீளத்தையோ சார்ந்திருக்காமல், இயக்கத்தின் ஆரம்ப, முடிவுப் புள்ளிகளின் உயரங்களின் வித்தியாசத்தால் மட்டுமே தீர்மானிக்கப்படுகிறது என்பது இதிலிருந்து தெரிய வருகிறது.

நமது முடிவு, ஒருவரின் அன்றுட அனுபவங்களோடு ஒத்திருக்கவில்லை என வாசகர் நினைக்கலாம். உதாரணமாக, சற்றே சரிவான நீண்ட பாதையில் இயங்குகிற ஒரு பொருள் வேகம் அடையாமல் முடிவில் ஓய்வு நிலைக்கு வருகிறது. இவ்வாறுதான் பல நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறுகின்றன. ஆனால் நம் அறிமுறையில் உராய்வு விசையைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளவில்லை. பூமியின் மேல் அமைந்துள்ள ஈர்ப்புப் புலத்தினுள், ஈர்ப்பு விசையின் செயற்பாட்டுக்குமட்டும் உட்படுத்தப்பட்ட இயக்கத்திற்கே மேற்கூறிய சூத்திரம் ஏற்றதாயிருக்கிறது. உராய்வு விசை சிறியதாக இருந்தால், மேலே தருவிக்கப்பட்ட விதி நன்கு பொருந்துகிறது. உலோகச் சக்கரங்களையுடைய ஒரு வண்டி மிகக் குறைந்த உராய்வுடன் வழவழப்பான பனிமலையின் மீது கீழ் நோக்கி வழுக்கி இறங்குகிறது. மிகவும் அதிகமான வேகத்தை ஏற்படுத்தக்கூடிய கீழ் நோக்கிய செங்குத்துச் சரிவில் தொடங்கி, விநோதமான வளைவுகளையும், மேடு பள்ளங்களையும் கொண்ட நீண்ட பனிப்பாதைகளை அமைக்க முடியும். உராய்வு முழுமையாக இல்லாயிருக்கும் போது இத்தகைய மலையின் மீது மேற்கொள்கிற ஒரு பிரயாணத்தின் முடிவில் (அதாவது வண்டி அதுவாகவே ஓய்வு நிலைக்கு வரும் பொழுது) அவ்வண்டி பயணத்தை ஆரம்பித்த அதே உயரத்திலேயே இருக்கும். ஆனால் உராய்வைத் தவிர்க்க

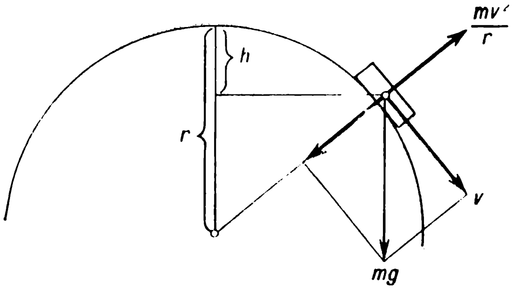
முடியாதாகையால் வண்டி பயணத்தைத் தொடங்கிய புள்ளி அது ஓய்வு நிலைக்கு வருகிற இடத்தைவிடச் சற்று அதிக உயரத்திலி ருக்கும்.

ஈர்ப்பு விசைக்கு உட்படுத்தப்பட்ட ஒரு இயக்கத்தின் இறுதி வேகம் பாதையின் அமைப்பைச் சார்ந்ததல்ல என் பதை உறுதிப்படுத்துகிற விதியை நம் கவனத்தைக் கவரு கிற பலதரப்பட்ட பிணக்குகளுக்குத் தீர்வு காணப் பயன் படுத்தலாம்.

ஒரு நிலைக்குத்தான வட்டத்தில் ''கரண வித்தை'' செய் தல் அடிக்கடி சர்க்கஸில் காட்டப்படுகிற ஒரு மெய்க்கூச் செறியச் செய்யும் அங்கமாகும். சைக்கிள் (ஓட்டுபவருடன்) அல்லது கழைக்கூத்தாடியைக் கொண்ட ஒரு வண்டி உயர்ந்த மேடை ஒன்றின் மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. முதலில் முடுக்கப்பட்ட இயக்கமும், பின்னர் ஒரு ஏற்றமும் நடைபெறுகின்றன. இங்கு ஏற்கனவே அவர் தலைகீழாக இருக்கிறார். திரும்பவும் ஒரு இறக்கம் ஏற்படுகிறது. கரணம் முழுமை பெறுகிறது. ஒரு சர்கஸ் பொறியாளர் தீர்வு காண வேண்டிய ஒரு பிணக்கை நாம் பரிசீலிப்போம். கழைக்கூத்தாடி கீழே விழாமல் கரண வித்தையை முழுமை யாகச் செய்ய வேண்டுமானால், இறக்க இயக்கம் ஆரம்ப மாகும் மேடை எவ்வளவு உயரத்தில் அமைக்கப்பட வேண்டும்? வண்டிக்கு எதிராகக் கழைக்கூத்தாடியை அழுத் துகிற மையவிலக்கு விசையானது, இதற்கு எதிர்த் திசை யில் செயல்படுகிற ஈர்ப்பு விசையைச் சரியீடு செய்ய வேண் டியதிருக்கிறது என்னும் அவசியமான நிபந்தனை ஒன்றை நாமறிவோம். ஆகவே, $mg \leqslant \frac{mv^2}{R}$; இங்கு r என்பது வட்ட தின் ஆரமாகும்; என்பது வட்டத்தின் உச்சியில் இருக்கும் பொழுது இயக்க வேகம் ஆகும். இவ்வேகத்தை அடைய வேண்டுமானால், வட்டத்தின் உச்சியிலிருந்து ஒருகுறிப்பிட்ட அளவாகிய h என்னும் உயரத்திலிருந்து இயக்கத்தைத்

தொடங்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. கண்க்கூத்தாடியின் ஆரம்ப வேகம் பூச்சியமாக இருப்பதால், வட்டத்தின் உச்சியில் $v_2 = 2gh$ என்ருகிறது. ஆனல் மற்ருெரு வழியில் $v_2 \geqslant gR$ ஆக இருக்க வேண்டும். எனவே, h என்னும் உயரத்துக்கும் வட்டத்தின் ஆரத்துக்கும் இடையே $h \geqslant \frac{R}{2}$ என்னும் சார்பு ஏற்படுகிறது. வட்டத்தின் உச்சியிலிருந்து குறைந்த பட்சம் வட்ட ஆரத்தின் பாதியளவாவது மேலே இருக்கும்படியாக மேடையை அமைக்க வேண்டியிருக்கிறது தவிர்க்க முடியாத உராய்வு விசையையும் கணக்கில் சேர்த்துக் கொண்டால், ஒரு பாதுகாப்பு எல்லையுடன் நாம் நமது உயரத்தைத் தெரிவு செய்ய வேண்டியிருக்கிறது.

மற்றுமொரு பிணக்கை இங்கு பார்ப்போம். உராய்வு சிறுமமாக இருக்கும்படியான மிகவும் வழவழப்பான பெரிய குவிந்த கூரை ஒன்றை எடுத்துக் கொள்வோம். ஒரு சிறிய பொருளை அதன் உச்சியில் வைத்து, யாரும் கவனிக்க முடியாத அளவில் பலவீனமான அழுத்தம் ஒன்றின் மூலம், குவிந்த கூரையின் வழியே கீழ்நோக்கி வழுக்கி இறங்கச் சந்தர்ப்பம் அளிக்கவும். சிறிது நேரத்தில் அப்பொருள் குவிந்த கூரையிலிருந்து விடுபட்டுக் கீழே விழத் தொடங்குகிறது. குவிந்த கூரையின் மேற்பரப்பிலிருந்து பொருள் எந்த நேரத்தில் விடுபட்டுச் செல்கிறது என்ற கேள்விக்கு நாம் எளிதில் பதிலளிக்க முடியும். விடுபடும் நேரத்தில் மையவிலக்கு விசையானது எடையின் ஆக்கக்கூற்றுக்குச் சமமாயிருத்தல் வேண்டும். (இத்தருணத்தில் பொருள், குவிந்த கூரையின் மீது அழுத்துவதை நிறுத்திவிடுகிறது. ஆனல் இதுவே சரியாக விடுபடும் நேரமாகும்) படம் 34ல் இரு வடிவொத்த முக்கோணங்களைக் காணலாம். இதில் விடுபடும் தருணம் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. விசை முக்கோணத்தின் அடிப்பக்கத்துக்கும் கர்ணத்துக்கும் இடையேயான



படம் 34

விகிதத்தை அமைத்து, அதை மற்ெருரு முக்கோணத்தின் ஒத்த விகிதத்துடன் சமப்படுத்துவோம்:

$$\frac{mv^2/r}{mg} = \frac{r-h}{r}$$

இங்கு r என்பது கோளவடிவமான குவிந்த கூரையின் ஆரமாகும். h என்பது வழுக்குதலின் ஆரம்ப, முடிவு உயரங்களின் வித்தியாசமாகும். இறுதி வேகம் பாதையின் அமைப்பைச் சார்ந்திராத் தன்மையை இப்பொழுது நாம் பயன்படுத்துவோம். பொருளின் ஆரம்ப வேகம் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருப்பதாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதால், $v^2=2gh$ என்பதை நாம் பெறுகிறேம். மேற்கூறிய விகிதசமத்தில் இதை மாற்றீடு செய்து, பின்னர் எண் கணித மாறுதல்களைச் செய்வதன் மூலம் $h=\frac{r}{3}$ என்பதை நாம் அடைகிறேம். ஆகவே குவிந்த கூரையின் உச்சியிலிருந்து கீழே அதன் ஆரத்தில் 1/3 பகுதி உயரத்தில் அப்பொருள் குவிந்த கூரையிலிருந்து விடுபட்டுச் செல்கிறது.

இயந்திர ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி

இயக்கம் முழுவதிலும், எண்மதிப்பு மாருமலிருக்கும் ஒரு கணியத்தை அறிந்திருப்பது எவ்வளவு உதவியாயிருக்

கிறது என்பதைச் சற்று முன்னர் பரிசீலித்த உதாரணங்க ளிலிருந்து நாம் அறிய முடிகிறது.

இதுவரையிலும், ஒரு பொருளுக்குரிய இத்தகையதொரு கணியத்தை நாமறிந்திருக்கிறோம். ஆனால், ஒன்றையொன்று சார்ந்திருக்கிற சில பொருட்கள் ஒரு ஈர்ப்புப் புலத்துள் இயங்குகிற பொழுது இத்தகைய ஒரு கணியத்தை நாம் குறிப்பிட முடியுமா? பொருட்களில் ஒவ்வொன்றும் ஈர்ப்பு விசையின் செயற்பாட்டுக்கு உட்படுத்தப்படுவதோடு அண் டைப் பொருட்களின் விசைகளின் செயற்பாட்டுக்கும் இலக்கா வதனல், அவை ஒவ்வொன்றுக்கும் $\frac{v^2}{2}+gh$ என்னும் எண்ணுருக்கோவை மாறிலியாய் இருக்கிறது என நாம் தற் கோள் கொள்ள மாட்டோம் என்பது தெளிவு. ஒருவேளை நம் பரிசீலனையின் கீழ் உள்ள பொருட்களின் தொகுதி முழு வதுமாக கணக்கிடப்பட்ட இத்தகைய எண்ணுருக்கோ வையின் கூட்டுத்தொகை அழியாதிருக்கலாம் என நாம் எண்ணக் கூடும். இத்தற்கோள் தவறனது என்று நாம் நிரூபிப்போம். பல பொருள் அடங்கிய தொகுதியின் இயக் கம் முழுவதிலும் அழியாமல் பாதுகாக்கப்படுகிற கணியம் ஒன்று இருக்கிறது. ஆயினும் இது

$$\left(\frac{v^2}{2}+gh\right)_{\text{பொருள்}_1}+\left(\frac{v^2}{2}+gh\right)_{\text{பொருள்}_2}+\ldots.$$

என்னும் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருப்பதில்லை. ஆனல் இது ஒவ்வொரு பொருளைச் சார்ந்த இத்தகைய எண்ணுருக் கோவையை அப்பொருளின் பொருண்மையால் பெருக்கிப் பின்னர் கணக்கிடப்பட்ட அவற்றின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இன்னெரு முறையில் கூறினல்

$$m_1\left(\frac{v^2}{2}+gh\right)_1+m_2\left(\frac{v^2}{2}+gh\right)_2+\ldots.$$

அழிவின்றி பாதுகாக்கப்படுகிறது.

இயந்திரவியலின் இம்முக்கிய விதியின் நிரூபணத்துக்

காகக் கீழ்வரும் உதாரணத்தைக் கவனிப்போம். கப்பியின் வழியே செல்கிற ஒரு கயிற்றின் இரு நுனிகளிலும் இரு பளுக் கள் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றில் கனமானது, M எனும் பொருண்மையையும், இலேசானது m என்னும் பொருண்மையையும் கொண்டிருக்கின்றன. கனமான பளு, இலேசான பளுவை இழுக்கிறது. இரு பொருட்களாலான இத்தொகுதி அதிகரிக்கும் வேகத்துடன் இயங்குகிறது. இப் பொருட்களின் எடைகளின் வித்தியாசமாகிய $(Mg - mg)$ யே இவ் வியக்கத்தைத் தூண்டுகிற விசையாகும். இரண்டு பொருட்களின் பொருண்மைகளும் முடுக்கப்பட்ட இயக்கத் தில் பங்கு கொள்வதால், இதற்கான நியூட்டனின் விதி கீழ்வருமாறு எழுதப்படுகிறது:

$$(M - m)\, g = (M + m)\, a.$$

இவ்வியக்கம் நடைபெறும் பொழுது இரு தருணங்களைக் குறித்து, அவ்விரு தருணங்களிலும், இரு பளுக்களுக்குரிய $\left(\frac{v^2}{2} + gh\right)$ என்னும் எண்ணுருகோவைகளை அதனதன் பொருண்மையால் பெருக்கி, பின்னர் கணக்கிடப்பட்ட அவற்றின் கூட்டுத்தொகையானது உண்மையில் மாறிலியாய் இருக்கிறது என நாம் நிரூபிக்க வேண்டும். ஆகவே,

$$m\left(\frac{v_2^2}{2} + gh_2\right) + M\left(\frac{v_2^2}{2} + gH_2\right) =$$
$$= m\left(\frac{v_1^2}{2} + gh_1\right) + M\left(\frac{v_1^2}{2} + gH_1\right)$$

என்னும் சமன்பாட்டை நிரூபிக்க வேண்டியிருக்கிறது. பெரிய எழுத்துக்கள், கனமான பளுவைச் சார்ந்த இயற்பி யல் கணியங்களைக் குறிக்கின்றன. அடியெழுத்துக்கள் 1,2 ஆகியவை நாம் பரிசீலித்துக் கொண்டிருக்கிற இரு தரு ணங்களைக் குறிக்கின்றன.

இரு பளுக்களும் கயிறு ஒன்றால் இணைக்கப்பட்டிருப்ப தால், $v_1 = V_1$ $v_2 = V_2$ எளிமையாக்கும். இச்சமன்பாடுகளை உபயோகித்துப் பின்னர் உயரங்களின் குணகங்களை வலது கைப்பக்கமும், வேகங்களின் குணகங்களை இடது கைப்பக் கமும் கொண்டு சென்றால்,

$$\frac{(M+m)}{2}(v_2^2 - v_1^2) = mgh_1 + MgH_1 - mgh_2 - MgH_2 =$$
$$= mg(h_1 - h_2) + Mg(H_2 - H_2)$$

என்னும் சமன்பாட்டை நாம் பெறுகிறோம். உண்மையில், பளுக்களின் உயரங்களின் வித்தியாசங்கள் சமமாயிருக் கின்றன ஒரு பளு உயரும் பொழுது, அடுத்த பளு இறங்குவதால், இவை எதிர்க்குறியீடுகளைக் கொண்டிருக் கின்றன. ஆகவே

$$\frac{(M+m)}{2}(v_2^2 - v_1^2) = g(M-m)s,$$

இங்கு s என்பது பளு கடந்து சென்ற தூரமாகும்.

a என்னும் முடுக்கத்துடன் s நீளமுள்ள ஒரு பாதையின் பகுதியைக் கடந்து செல்லும் பொழுது, அப்பகுதியின் ஆரம்ப, முடிவுப் புள்ளிகளில் அடைகிற வேகங்களின் இரு மடிகளின் வித்தியாசம் $2as$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது என்று நாம் பார்த்தோம்:

$$v_1^2 - v_2^2 = 2as$$

முந்திய சூத்திரத்தில் இந்த எண்ணுருக்கோவையை மாற் றீடு செய்து,

$$(m+M)a = (M-m)g$$

என்னும் சமன்பாட்டை நாம் அடைகிறோம். ஆனால் இதுவே நம் உதாரணத்துக்காக மேலே நாம் எழுதிய நியூட்டன் விதியாகும். இதன் மூலம் தேவையானதை நாம் நிரூபித்து

விட்டோம். இயக்கத்தின் போது இரு பொருட்களின் $\frac{v^2}{2}+gh$ என்னும் எண்ணுருக்கோவைகளை ஒத்திசைவான பொருண்மைகளால்* பெருக்கிக் கணக்கிடப்பட்ட அவற்றின் கூட்டுத்தொகை மாறிலியாய் இருக்கிறது அல்லது அழிவின் றிப் பாதுகாக்கப்படுவதாகச் சொல்கிறோம். அதாவது

$$\left(\frac{mv^2}{2}+mgh\right)+\left(\frac{Mv^2}{2}+MgH\right)=\text{மாறிலி (const)}$$

இச்சூத்திரத்தை ஒரு பொருளை மட்டும் கொண்டுள்ள ஒரு தொகுதிக்கு உபயோகிக்கும் பொழுது, இது நாம் முன்னர் நிரூபித்த சூத்திரமாக மாறுகிறது:

$$\frac{v^2}{2}+gh=\text{மாறிலி.}$$

பொருண்மை, வேகத்தின் இருமடி ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனில் பாதி, இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy) என அழைக்கப்படுகிறது:

$$K=\frac{mv^2}{2}$$

ஒரு பொருளின் எடை, பூமியிலிருந்து அது இருக்கும் உயரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனே பொருளின் பூமியை நோக்கிய ஈர்ப்பின் நிலையாற்றல் (potential energy) U என அழைக்கப்படுகிறது:

$$U=mgh.$$

---

* உண்மையில், $\frac{v^2}{2}+gh$ என்னும் எண்ணுருக்கோவை $2m$ அல்லது $m/2$ அல்லது பொதுவாக இவற்றில் எந்தக் குணகத்தைக் கூட்டியதால் பெருக்கப்படலாம். நாம் மிக எளிய முறையில் அதாவது எளிமையாக m ஆல் பெருக்கு வதற்குச் சம்மதிக்கிறோம்.

இரண்டு பொருட்கள் அடங்கிய ஒரு தொகுதியின் இயக்கத்தின் போது (பல பொருட்களைக் கொண்டிருக்கும் ஒரு தொகுதிக்கும் இதை நிரூபிக்க முடியும்) பொருட்களின் இயக்க ஆற்றல்கள், நிலையாற்றல்கள் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகை மாறிலியாக இருக்கிறது என்பதை நாம் நிரூபித்திருக்கிறோம்.

இன்னொரு விதமாகக் கூறினால், பல பொருட்கள் அடங்கிய தொகுதி ஒன்றில், நிலையாற்றல் குறைவுபடுதலினால் தான் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிக்க முடியும் (இதன் மறுதலையும் உண்மையே).

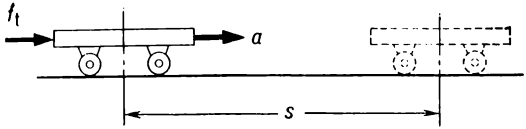
சற்று முன்னர் நிரூபித்த விதியே, **இயந்திர ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி** என அழைக்கப்படுகிறது.

இயந்திர ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி இயற்கையின் மிக முக்கியமான விதியாகும். இதன் முக்கியத்துவத்தை இதுவரை நாம் முழு அளவில் காட்டவில்லை. பின்னால், மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்தோடு நாம் பழக்கப்படும் பொழுது, இதன் சர்வ வியாபகமான தன்மையும், இயற்கையின் எல்லா இயற்பாடுகளுக்கும் இது உபயோகப்படும் விதமும் தெளிவாகத் தெரியவரும்.

வேலை

நாம் ஒரு பொருளைத் தள்ளும் பொழுது அல்லது இழுக்கும் பொழுது எந்தத் தடையையும் சந்திக்காவிட்டால், ஏற்படும் விளைவு பொருளின் முடுக்கமேயாகும். இதைத் தொடர்ந்து ஏற்படுகிற இயக்க ஆற்றலின் மாற்றமே விசையால் ஆற்றப்பட்ட **வேலை** A என அழைக்கப்படுகிறது:

$$A=\frac{mv_2^2}{2}-\frac{mv_1^2}{2}.$$



படம் 35

நியூட்டனின் விதிப்படி, ஒரு பொருளின் முடுக்கமும், அதனால் ஏற்படுகிற இயக்க ஆற்றலின் அதிகரிப்பும், அப் பொருளின் மேல் செலுத்தப்பட்ட எல்லா விசைகளின் திசையுளிக் கூட்டலால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. ஆகவே பல விசைகள் செயற்படும் சூழ்நிலையில், $A=\frac{mv_2^2}{2}-\frac{mv_1^2}{2}$ என்னும் சூத்திரம் விசைகளின் தொகுபயனால் ஆற்றப்பட்ட வேலையைக் குறிக்கிறது. A எனும் வேலையை விசையின் எண் மதிப்பினால் அறிவிப்போம்

எளிதாயிருப்பதற்காக, இயக்கம் ஒரு திசையில் மட்டுமே சாத்தியமாயிருக்கிற ஒரு சூழ்நிலைக்கு நம்மைக் கட்டுப்படுத்திக் கொள்வோம். உதாரணமாக நாம் இரயில் தண்டவாளங்களின் மேல் நின்று கொண்டிருக்கும், பொருண்மையையுடைய ஒரு வண்டியைத் தள்ளுவோம் (அல்லது இழுப்போம்) படம் 35. 131

சீராக முடுக்கப்படுகிற இயக்கத்திற்கான நமது பொது சூத்திரத்தின்படி $v_2^2-v_1^2=2as$. ஆகவே s தூரம் கடப்பதற்குள் எல்லா விசைகளாலும் ஆற்றப்பட்ட வேலை:

$A=\frac{mv_2^2-mv_1^2}{2}=mas.$ என்றிருக்கிறது. ma என்னும் பெருக்கற்பலன், மொத்த விசையில், இயக்கத் திசையில் அமைந்துள்ள ஆக்கக் கூற்றுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆகவே, $A=F_t\cdot s$. இடப்பெயர்ச்சியின் திசையில் அமைந்திருக்கும் விசையின் ஆக்கக்கூறு, நகர்ந்த தூரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனாலேயே அவ்விசை ஆற்றிய வேலை அளக்கப்

படுகிறது. எத்தகைய தோற்றுவாயைக் கொண்ட விசைகளாயினும், எப்படிப்பட்ட பாதையின் மீது ஏற்படுகிற இயக்கங்களாயினும், வேலைக்கான இச்சூத்திரம் செல்லுபடியாகிறது.

இயக்கத்தை மேற்கொண்டிருக்கிற ஒரு பொருளின் மீது விசைகள் செயல்பட்டாலும்கூட ஆற்றப்பட்ட வேலை பூச்யத்துக்குச் சமமாக இருக்கலாம்.

உதாரணமாக, காரியாலிஸ் விசையால் ஆற்றப்பட்ட வேலை பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஏனெனில் இவ் விசை இயக்கத் திசைக்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படுகிறது. இவ்விசை தொடுகோட்டு ஆக்கக்கூற்றைக் கொண்டிராததால் செய்யப்பட்ட வேலை பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

பாதையின் வளைவு ஒன்றில் செல்லும் பொழுது அதனுடன் சேர்ந்து வேகம் மாறுதல் அடையவில்லையெனில், வேலை எதுவும் தேவைப்படுவதில்லை. ஏனெனில் இச்சூழ்நிலையில் இயக்க ஆற்றல் மாருமலிக்கிறது.

வேலை எதிர்க்குறியீட்டைக் கொண்டிருக்க முடியுமா? ஆம். முடியும். இயக்கத் திசையிலிருந்து ஒரு விரிகோணத்தில் விசை செயல்படுமாயின், அது இயக்கத்துக்கு உதவாமல் தடையாக அமைகிறது. இயக்கத் திசையில் அமைந்திருக்கும் விசையின் ஆக்கக்கூறு எதிர்க்குறியீட்டைக் கொண்டிருக்கிறது. இச்சூழ்நிலையில் விசை எதிர்வேலையைச் செய்கிறது என நாம் கூறுகிருேம். உராய்வு விசை எப்பொழுதும் இயக்கத்தின் வேகத்தைக் குறைக்கிறது, அதாவது எதிர்வேலையைச் செய்கிறது.

இயக்க ஆற்றலின் மாறுதலின் அடிப்படையில் விசைகளின் தொகுபயனுல் செய்யப்பட்ட வேலையையே நாம் கணிக்க முடிகிறது.

தனித்தனி விசைகளால் செய்யப்பட்ட வேலைகளைப் பொறுத்தமட்டில், $F_t s$ என்னும் பெருக்கற்பலனுலேயே நாம் அவைகளைக் கணக்கிட வேண்டும். மோட்டார் வண்டி ஒரு நெடுஞ்சாலையில் சீராகச் சென்று கொண்டிருக்கிறது. இதில், இயக்க ஆற்றலில் அதிகரிப்பு எதுவும் ஏற்படவில்லை. ஆகவே விசைகளின் தொகுபயனுல் செய்யப்பட்ட வேலை பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆனுல் மோட்டாரினுல் செய்யப்பட்ட வேலை பூச்சியமாயிருப்பதில்லை. இது மோட்டாரின் உந்து விசை, மோட்டார் கடந்து சென்ற தூரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. தடை விசை மற்றும் உராய்வு விசைகளால் செய்யப்பட்ட எதிர்வேலையால் இது முழுவதுமாக ஈடு செய்யப்படுகிறது.

''வேலை'' என்னும் கொள்கையின் உதவியால் நாம் சற்று முன்னர், பழக்கப்படுத்திக் கொண்ட ஈர்ப்பு விசையின் சில சிறப்பு அம்சங்களைச் சுருக்கமாகவும் தெளிவாகவும் விளக்கிக் கூற முடியும். ஈர்ப்பு விசையின் செயற்பாட்டின் கீழ் ஒரு பொருள் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்குச் சென்றுல் அதன் இயக்க ஆற்றல் மாறுகிறது. இயக்க ஆற்றலின் இம்மாறுதல் A என்னும் வேலைக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆனுல் நிலையாற்றலின் செலவினுல்தான் இயக்க ஆற்றலில் அதிகரிப்பு ஏற்பட முடியும் என்பதை ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியிலிருந்தும் நாமறிவோம்.

ஆகவே ஈர்ப்பு விசை செய்த வேலை, நிலையாற்றலின் இழப்புக்குச் சமமாயிருக்கிறது:

$$A = U_1 - U_2$$

பொருள் கடந்து சென்ற பாதை எதுவாயிருப்பினும் நிலையாற்றலின் இழப்பும் (அதிகரிப்பும்), இதனுல் ஏற்படும் இயக்க ஆற்றலின் அதிகரிப்பும் (இழப்பும்) சமமாகவே இருக்கின்றன. ஈர்ப்பு விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை,

பாதையின் அமைப்பைப் பொறுத்ததல்ல என்பதை இது குறிப்பால் தெரிவிக்கிறது. முதல் புள்ளியிலிருந்து இரண்டாவது புள்ளிக்கு, ஒரு பொருள் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிப்புடன் சென்ருல், அப்பொருள் சரியாக அதே அளவு இயக்க ஆற்றலின் இழப்புடன், இரண்டாவது புள்ளியிலிருந்து முதல் புள்ளிக்குச் செல்லும். மேலும் பொருள் ''முன்ஞேக்கி'' சென்ற பாதையும் ''பின்ஞேக்கி'' சென்ற பாதையும் ஒன்றியிருந்தாலும், இல்லாமலிருந்தாலும் எந்தவித வித்தியாசத்தையும் ஏற்படுத்துவதில்லே. ஆகவே ''முன்ஞேக்கிய'' பயணத்தின் போதும் ''பின்ஞேக்கிய'' பயணத்தின் போதும் செய்யப்பட்ட வேலேகள் சர்வசமமாயிருக்கின்றன. ஆரம்ப முடிவுப் புள்ளிகள் ஒன்றியிருக்கும்படியான பாதையின் மீது ஒரு பொருள் நீண்ட பயணம் ஒன்றை மேற்கொண்டால், இப்பயணத்தின் போது செய்யப்பட்ட வேலே பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

கற்பனேக்கு எட்டிய அளவில் விநோதமான அமைப்புடைய பள்ளத்தின் வழியே ஒரு பொருள் உராய்வின்றி வழுக்கிச் செல்வதாகக் கற்பனே செய்யவும். அதிக உயரமான ஒரு புள்ளியிலிருந்து அதைப் பயணத்தில் அனுப்பி வைப்போம். அப்பொருள் வேகத்தைப் பெற்றுக் கீழ் நோக்கி விரைகிறது. இவ்வாறு பெற்ற இயக்க ஆற்றலின் செலவில் அப்பொருள் ஏற்றங்களேக் கடந்து முடிவாக புறப்பட்ட இடத்துக்கே திரும்பிச் செல்கிறது. அது எந்த வேகத்துடன் திரும்புகிறது என்னும் கேள்வி எழலாம். ஆம். அது அப்புள்ளியை விட்டுப் புறப்பட்ட அதே வேகத்துடனேயே திரும்புகிறது என்று கூறிஞல் வாசகர்களுக்கு ஆச்சரியமாக இருக்கலாம். இப்பொழுது அப்பொருளின் நிலே ஆற்றல் அதன் பழைய மதிப்பைப் பெற்றிருக்கிறது. இது இப்படியாஞல், அதன் இயக்க ஆற்றல் அதிகரித்திருக்கவோ அல்லது குறையவோ முடியாது. ஆகவே இப்பயணத்தின்

போது செய்யப்பட்ட வேலை பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

எல்லா விசைகளும், ஒரு வட்டப் பாதையின் (மூடிய பாதை என இயற்பியல் அறிஞர்கள் கூறுகிற) மீது செய்கிற வேலை பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருப்பதில்லை. உதாரணமாக, பாதையின் நீளம் அதிகமாயிருந்தால், உராய்வு விசையால் செய்யப்படுகிற வேலையும் அதிகரிக்கும் என்பதை நாம் நிரூபிக்கத் தேவையில்லை.

வேலையும் ஆற்றலும் எந்த அலகுகளால் அளக்கப்படுகின்றன?

வேலை, ஆற்றலின் மாற்றத்துக்குச் சமமாயிருப்பதால் வேலையும் ஆற்றலும்—நிலையாற்றலும் இயக்க ஆற்றலும்—ஒரே அலகுகளின் அடிப்படையிலேயே அளவிடப்படுகின்றன. வேலையானது ஒரு விசையைத் தூரத்தால் பெருக்கிய பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஒரு டைன் அளவுள்ள ஒரு விசை ஒரு செ.மீ நீளமான பாதையின் மீது ஆற்றுகிற வேலை ஒரு எர்க் (Erg) என அழைக்கப்படுகிறது:

1 எர்க் = 1 டைன் · 1 செ.மீ.

இது மிகச் சிறிய வேலையாயிருக்கிறது. ஒரு கொசு ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக நமது கட்டை விரலிலிருந்து ஆள்காட்டி விரலுக்கு பறக்கும் பொழுது ஆற்றுகிற வேலை இந்த அளவைக் கொண்டிருக்கிறது. இயற்பியலில் பயன்படுத்தப்படுகிற வேலை, ஆற்றல் ஆகியவற்றின் பெரிய அலகு ஜூல் எனப்படுவதாகும். இது எர்க்கைப் போன்று 10 மில்லியன் மடங்குப் பெரியதாக இருக்கிறது:

1 ஜூல் = 10 மில்லியன் எர்க்குகள்.

அடிக்கடி உபயோகப்படுத்தப்படுகிற வேலையின் அலகு 1 கிலோகிராம்—மீட்டராகும். இது ஒரு கி.கி.வி அளவுள்ள ஒரு விசை, ஒரு மீட்டர் இடப்பெயர்ச்சி அடையும்போது ஆற்றுகிற வேலையாகும். இந்த அளவு வேலையை ஒரு மேசையிலிருந்து தரையில் விழும் ஒரு கிலோகிராம் எடை ஆற்றுகிறது.

நாமறிந்திருப்பது போல் 1 கி.கி.வி என்னும் விசை 981000 டைன்களுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. 1 மீட்டர் 100 சென்டிமீட்டர்களுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. எனவே 1 கி.கி.வி—மீ அளவுள்ள வேலை 98100000 எர்க்குகள் அல்லது 9.81 ஜுல்களுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. மறுதலையாகக் கூறினால், 1 ஜுல் என்பது 0.102 கி.கி.வி—மீக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருக்கிற, இன்னும் குறிப்பிட வேண்டியிருக்கிற புதிய அலகுமுறை (சர்வதேசப்படித்தரம்) ஜுல் என்னும் அலகையே வேலை, ஆற்றல் ஆகியவற்றின் அலகாகப் பயன்படுத்தலாம் என்னும் புதுக்கருத்தைத் தெரிவிக்கிறது. 1 நியூட்டன் என்னும் விசை 1 மீட்டர் நீளமான பாதையின் மீது ஆற்றுகிற வேலையின் அளவே ஜுல் என இப்புதிய அலகுமுறை வரையறுக்கிறது. இப்புதிய அலகுமுறையில் விசை எவ்வளவு எளிதாக வரையறுக்கப்படுகிறது என்பதை அறிந்தால் இப்புதிய அலகுமுறையின் வசதிகளைப் புரிந்து கொள்வதில் நமக்குக் கடினம் எதுவும் இருக்காது.

ஆற்றலின் இழப்பு

இயந்திர ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியை உதாரணங்களுடன் விளக்கும் பொழுது, ''உயர்வு இல்லாதிருக்கும் பொழுது உராய்வு இல்லாதிருந்தால்'' என்பனவற்றை நாம் விடாப்பிடியாகத் திரும்பத் திரும்பக் கூறியதை வாசகர்

கள் கவனித்திருக்கக் கூடும். ஆனால் உராய்வு தடுக்கப்பட முடியாமல் எல்லா இயக்கங்களுடனும் தொடர்கிறது. இம் முக்கியமான நடைமுறைச் சூழ்நிலையைக் கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ளாத விதி என்ன முக்கியத்துவம் பெற்றிருக்க முடியும்? நாம் இப்பொழுது இக்கேள்விக்குப் பதிலளிப்பதை நிறுத்திவிட்டு உராய்வின் சில விளைவுகளைப் பற்றிப் பரிசீலிப்போம்.

உராய்வு விசைகள் இயக்கத்துக்கு எதிராகச் செயல்படுகின்றன. ஆகவே அவை எதிர்வேலையை ஆற்றுகின்றன. இது இயந்திர ஆற்றலுக்குத் தவிர்க்கமுடியாத இழப்பை உண்டாக்குகிறது.

இந்தத் தவிர்க்கமுடியாத இயந்திர ஆற்றலின் இழப்பு இயக்கத்தை இடை நிறுத்தத்துக்குக் கொண்டு வர வழி வகுக்குமா? எல்லா இயக்கங்களையும் உராய்வால் நிறுத்த முடியாது என்பதை நாம் நம்புவது கடினமானதல்ல.

செயலெதிர்ச் செயற்படுகின்ற பொருட்கள் சிலவற்றைக் கொண்டிருக்கிற மூடிய தொகுதியைக் கற்பனை செய்யவும். நாம் அறிந்திருப்பது போன்று இத்தகைய மூடிய தொகுதியைப் பொறுத்தமட்டில் உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி நன்கு பொருந்துகிறது. மூடிய தொகுதி அதன் உந்தத்தை மாற்ற முடியாது; ஆகவே அது நேர்கோட்டுப் பாதையில் சீராக இயங்குகிறது. இத்தகைய தொகுதியினுள் ஏற்படுகிற உராய்வு தொகுதியின் பகுதிகளுக்கிடையேயான சார்பு இயக்கங்களை அழிக்க முடியும். தொகுதியின் ஒட்டு மொத்த இயக்கத்தின் வேகத்தையோ திசையையோ இவ்வுராய்வு பாதிக்காது.

கோண உந்தத்தின் (angular momentum) **அழிவின்மை விதி** (இது பற்றி நாம் பின்பகுதியில் விளக்கமாகப் பார்ப்போம்) என்று அழைக்கப்படும் இயற்கையின் மற்றொரு விதியும் வழக்கில் இருக்கிறது. மூடிய தொகுதியின் ஒட்டு

மொத்தமான சீரான சுழற்சியை உராய்வு அழிப்பதை இவ் விதி அனுமதிப்பதில்லை.

ஆகவே உராய்வு இருந்ததால் பொருட்களின் மூடப் பட்ட தொகுதியினுள் ஏற்படுகிற எல்லா இயக்கங்களும் நிறுத்தத்துக்கு வருகின்றன. இத்தொகுதியின் ஒட்டு மொத் தமான சீரான நேர்கோட்டுப் பாதை இயக்கத்தையும் சீரான சுழற்சி இயக்கத்தையும் மட்டுமே இவ்வுராய்வு தடை செய்வதில்லை.

பூமி அதன் சுழல் வேகத்தைச் சிறிது மாற்றுவதற்கு, நிலவுலகில் உள்ள பொருட்கள் ஒன்றுக்கெதிராக மற்றொன்று செயல்படுத்துகிற உராய்வு விசை காரணமாக அமையாது. ஆனால் பூமி தனிமைப்படுத்தப்பட்ட ஒரு பொருள் அல்ல என்பதே இதன் காரணமாகும்.

பூமியின் மீது ஏற்படுகிற இயக்கங்கள் யாவும் உராய் வுக்குட்படுத்தப்பட்டு அவற்றின் இயந்திர ஆற்றலை இழக் கின்றன. வெளியிலிருந்து ஆதரவு எதையும் பெறவில்லை யெனில் இத்தகைய இயக்கம் இடையிலேயே நிறுத்தப்பட லாம்.

இது இயற்கையின் ஒரு விதியாயிருக்கிறது. ஆனால் இயற் கையை வஞ்சிப்பதில் யாராவது வெற்றி பெற்றால், அவர் ''ஓயாத இயக்கத்தை'' நடைமுறைக்குக் கொண்டு வர இயலும்.

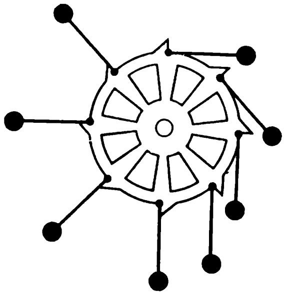
ஓயாத இயக்கம் (perpetual motion)

புஷ்கின் என்பவர் எழுதிய ''பிரபுக்கள் காலத்திய காட்சிகள்'' ("scenes from the days of knighthood") என்னும் புத்தகத்தின் கதாநாயகனாகிய பெர்ட்டோல்ட், ஓயாத இயக்கத்தை நடைமுறைக்குக் கொண்டு வருவத தாகக் கனவு கண்டார். அவருடன் உரையாடுபவர்: ''ஓயாத இயக்கம் என்றால் என்ன?'' என்று இலத்தீனில்

கேட்கிறார். அதற்கு பெர்ட்டோல்ட்: இது ஓயாத இயக்கம் என்று பதிலளிக்கிறார். நான் ஓயாத இயக்கத்தைக் கண்டு பிடித்து விட்டால், மனித உற்பத்தித்திறனின் அளவுக்கு நான் எல்லையை நான் வரையறுக்க முடியாது. பொன்னைச் செய்வது ஆசையைத் தூண்டும் செயலாகும். அதன் கண்டுபிடிப்பு புதுமையானதாகவும், இலாபகரமானதாகவும் இருக்கிறது. ஆனால் ஓயாத இயக்கம் சம்பந்தப்பட்ட பிணக்குக்குத் தீர்வு காண்பதால் என்ன பலன் கிடைக்கும்? எனவும் சேர்த்துக் கூறுகிறார்.

ஓயாத இயந்திர இயக்கம் என்பது, இயந்திர ஆற்றலின் அழிவு விதிக்கு மட்டும் முரண்பட்டதாக இல்லாமல், நாம் முரண்பட்டதாக இல்லாமல், நாம் அடைய முடியாத செயல் முறை சாராத சூழ்நிலைகளில்—அதாவது உராய்வு இல்லாதிருக்கும் பொழுது மட்டுமே நியாயமானதாயிருக்கிற, நாம் இப்பொழுது அறிந்திருக்கிற இயந்திர ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியையும் மீறுகிற ஒரு இயந்திரமாகும். ஓயாத இயக்க இயந்திரம், அது அமைக்கப்பட்ட உடனேயே தானாகச் செயல்படத் துவங்குகிறது. உதாரணமாக, சக்கரத்தைச் சுழலச் செய்யும் அல்லது பளுவை உயரத்துக்குத் தூக்கும், இவ்வேலை ஓயாமலும், தொடர்ந்தும் நடைபெற வேண்டும். எரிபொருளோ, மனித ஆற்றலோ அல்லது உயரத்திலிருந்து விழுகிற தண்ணீரின் ஆற்றலோ சுருக்கமாக, புற ஆற்றல் எதுவும் இவ்வியந்திரத்துக்குத் தேவைப்படுவதில்லை.

ஓயாத இயக்க இயந்திரத்தை நடைமுறைப்படுத்துவது பற்றி, இதுவரையில் நாமறிந்தவைகளில் நம்பத்தகுந்த, பழமையான குறிப்பேடுகள் 13ம் நூற்றாண்டைச் சார்ந்தவையாகும். ஆறு நூற்றாண்டுகட்குப் பின்னர், 1910ம் ஆண்டில் இதே ''திட்டம்'' மாஸ்கோவில் உள்ள அறிவியல் கழகங்கள் ஒன்றில் பரிசீலனைக்காகச் சமர்ப்பிக்கப்பட்டது என்னும் செய்தி ஆவலைத் துண்டுகிற உண்மையாகும்.



படம் 36

இந்த ஓயாத இயக்க இயந்திரத்தின் திட்டப் படம்36ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. சக்கரம் சுழலும் பொழுது பளுக்கள் பின்னேக்கி எறியப்படுகின்றன. இதைக் கண்டுபிடித்தவரின் கணக்கின்படி இச்செயல் சக்கரத்தின் இயக்கத்துக்கு ஆதரவாக இருக்கின்றது. ஏனெனில் அச்சிலிருந்து அதிக தூரத்தில் அமைந்திருக்கிற பளுக்கள் ஏனையவற்றைக் காட்டிலும், அதிகக் கடினமாக சக்கரத்தைக் கீழ்நோக்கி அழுத்துகின்றன. சிறிதும் சிக்கலில்லாத ''இவ்வியந்திரத்தை அமைத்த பின்னர், நிலமத்திஞல் ஒன்று அல்லது இரண்டு சுற்றுக்களுக்குப் பின்னர் சக்கரம் ஓய்வு நிலைக்கு வருகிறது என்பதை அதைக் கண்டுபிடித்தவரே புரிந்து கொண்டார். ஆனுல் இதனுல் அவர் மன வருத்தம் அடையவில்லை. ஒரு தவறு நடந்திருக்கிறது. நெம்புகோல்கள் அதிக நீளமானவைகளாகச் செய்யப்பட்டிருக்க வேண்டும். புடைப்புகள் அமைப்பில் மாற்றியமைக்கப்பட வேண்டும் என அவர் எண்ணிஞர். பலனளிக்காத இவ்வுழைப்புக்காக, தன்னைத் தானே கண்டுபிடிப்பாளர்கள் எனக் கருதிய பலர் அவர்களுடைய வாழ்க்கையைத் தியாகம் செய்திருக்கின்றனர். ஆனுல் அவர்களும் இதே அளவுவெற்றியையே அடைந்தனர்.

முழுவதுமாக நோக்கும் பொழுது, திட்டமிடப்பட்ட ஓயாத இயக்க இயந்திரங்களின் பல அமைப்புக்களுள் அதிகமான வேறுபாடு இருக்கவில்லை. இவற்றில் சிலவற்றை இங்கு பார்ப்போம். மேலே விவரிக்கப்பட்ட ஒன்றிலிருந்தும் கொள்கையில் மாறுதலில்லாத தாஞக இயங்கும் சக்கரங்கள் பல இருக்கின்றன. உதாரணமாக, நீரியக்க இயந்திரங்

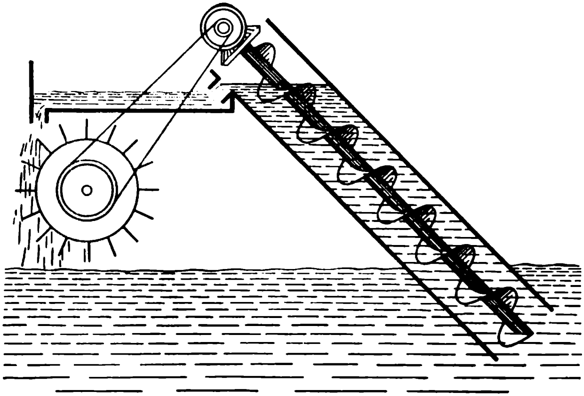
களைக் கூறலாம். படம் 37ல் காட்டப்பட்டிருக்கிற இவ்வி யந்திரம் 1634ம் ஆண்டில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. வடி குழாய் அல்லது நுண்குழாயைப் பயன்படுத்துகிற இயந் திரங்கள் (படம் 38). தண்ணீரில் எடை இழப்பு (படம் 39) அல்லது காந்தத்தை நோக்கிய இரும்புப் பொருட்களின் கவர்ச்சியை உபயோகப்படுத்துகிற இயந்திரங்கள்.

எந்தக் காரியத்தின் செலவினுல் ஓயாத இயக்கம் நடைபெற்றிருக்க வேண்டும் என்பதை ஊகிப்பது எவ்வகை யாலும் சாத்தியமில்லாத ஒன்ருகும் என்பது அதைக் கண் டுபிடித்தவரின் கருத்தாகும்.

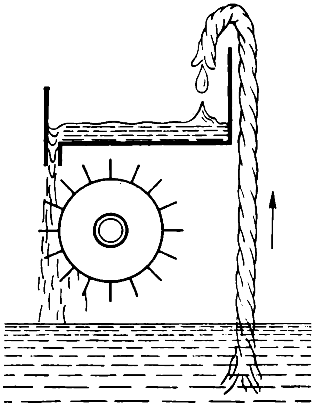
ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி நிரூபிக்கப்படுவதற்கு முன் னதாகவே, 1775ம் ஆண்டில் வெளியிடப்பட்ட பிரெஞ்சுக் குழுவின் உத்தியோக பூர்வமான அறிக்கையில், ஓயாத இயக்க இயந்திரம் அமைக்க முடியாதது பற்றி உறுதியா கத் தெரிவிக்கப்பட்டிருப்பதை நாம் காண்கிருேம். சோதனை செய்து உறுதிப்படுத்தும் நோக்கத்துடன் அறிவிக்கப்படுகிற ஓயாத இயக்க இயந்திரங்களின் திட்டங்கள் எவற்றையும் இனிமேல் அனுமதிப்பதில்லை என்றும் அப்போதே அக்குழு முடிவு செய்தது.

ஆற்றலின் கொள்கை, ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி ஆகியவை மிகப் பிற்காலத்திலேயே அறிவியலில் புகுந்தன என்பது உண்மையாயிருந்துங்கூட 17ம், 18ம் நூற்ருண் டைச் சேர்ந்த பல இயற்பியலாளர்கள் ஓயாத இயக்கம் சாத்தியமானதல்ல என்னும் மூலக்கோளை ஏற்கனவே அவர் களுடைய நிரூபணத்தின் அடிப்படையாகக் கொண்டிருந் தனர்.

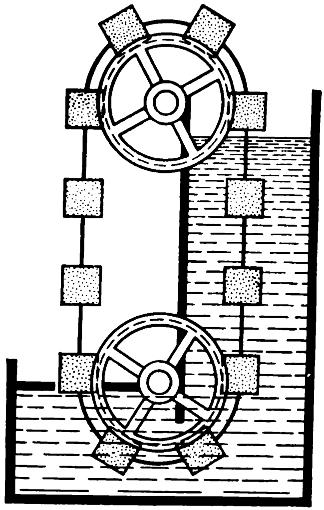
ஓயாத இயக்க இயந்திரம் ஒன்றை உருவாக்க முயற்சிக் கும் ஆராய்ச்சியாளர்கள், சோதனைகளின் உண்மைகளுடன் முரண்படுவது மட்டுமின்றி அடிப்படைத் தத்துவத்திலேயே (elementary logic) தவறிழைக்கிருர்கள் என்பது தற்காலத்தில்



படம் 37



படம் 38



படம் 39

தெளிவாகிறது. ஏனெனில், ஓயாத இயக்க இயந்திரம் என்பது சாத்தியமான ஒன்றல்ல என்பது அவர்களின் கண்டுபிடிப்புகளை நிறுவுவதற்குப் பயன்படுகிற இயந்திரவியல் விதிகளின் நேரடி விளைவாகும்.

சிறிதும் பலனளிக்காமல் போனாலுங்கூட ஓயாத இயக்க இயந்திரங்களை அமைக்கும் ஆராய்ச்சிகள் அழிவின்மை விதிக்கு வழி காட்டியதால், அவை உபயோகமான சில தொண்டுகளை ஆற்றியிருக்கின்றன என நாம் கூறலாம்.

மோதுகைகள்

இரு பொருட்களுக்கிடையேயான ஒவ்வொரு மோதுகையின் போதும் உந்தம் அழிவின்றி பாதுகாக்கப்படுகிறது. ஆனால் நாம் ஏற்கனவே விவரித்திருப்பது போல, பல்வேறு வகைப்பட்ட உராய்வுகளினால் ஆற்றல் குறைவுபடும்.

ஆயினும் மோதுகின்ற பொருட்கள் தந்தம், இரும்பு போன்ற மீட்சிப் பருப்பொருள்களால் ஆக்கப்பட்டிருந்தால் ஆற்றலின் அழிவு குறிப்பிடத்தக்கதாயிராது.

இரு பொருட்களின் இயக்க ஆற்றல்களின் கூட்டுத் தொகைகள், மோதுகைக்கு முன்னும் பின்னும் சமமாயிருக்கும்படியான மோதுகைகள், இலட்சிய மீட்சி மோதுகைகள் என அழைக்கப்படுகின்றன.

மிக அதிகமான மீட்சித் திறனுடைய பருப்பொருள்களின் மோதுகையின் போதுகூட இயக்க ஆற்றலில் ஒரு சிறிய அளவு இழப்பு ஏற்படுகிறது. உதாரணமாக, இவ்விழப்பு தந்தத்தாலான பில்லியார்டு பந்துகளின் மோதுகையின் போது 3—4 சதவீதத்தை அடைகிறது.

மீட்சி மோதுகைகளின் போது ஏற்படுகிற இயக்க ஆற்றலின் அழிவின்மை, பல பிரச்சினைகளுக்குத் தீர்வு காண்பதற்கு நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது.

உதாரணமாக, வேறுபட்ட பொருண்மைகளையுடைய இரு பந்துகளுக்கிடையேயான நேருக்கு நேர் மோதல் ஒன்றைக் கவனிக்கவும். உந்தச் சமன்பாடு (மோதுகைக்கு முன்னால், №2 என்னும் பந்து ஓய்வு நிலையில் இருந்ததாக வைத்துக் கொள்வோம்) கீழ்வரும் வடிவத்தைப் பெறுகிறது:

$$m_1v_1 = m_1u_1 + m_2u_2$$

ஆற்றலின் சமன்பாடு,

$\frac{m_1v_1^2}{2} = \frac{m_1u_1^2}{2} + \frac{m_2u_2^2}{2}$ என்றாகிறது. இங்கு v_1 என்பது மோதுகைக்கு முன்னால் முதல் பந்தின் வேகமாகும்; u_1ம் u_2ம் மோதுகைக்குப் பின் முறையே முதல் இரண்டாவது பந்துகளின் வேகங்களாகும்.

இயக்கம் நேர்கோட்டின் மீது நிகழ்வதால் (பந்துகளின் மையங்களின் வழியே செல்லும் நேர்கோட்டின் மீது நிகழ்கிறது. இதுவே நேருக்கு நேரான மோதுகை எனப்படுகிறது) திசையுளிகளைக் குறிக்கும் தடித்த எழுத்துக்களுக்குப் பதிலாக, இத்தாலிய எழுத்துக்கள் பயன்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. முதன் சமன்பாட்டிலிருந்து:

$u_2 = \frac{m_1}{m_2}(v_1 - u_1)$ என்பதை நாம் பெறுகிறோம்.

u_2—க்கான இந்த எண்ணுருக்கோவையை ஆற்றலின் சமன்பாட்டின் மாற்றீடு செய்தால்

$\frac{m_1}{2}(v_1^2 - u_1^2) = \frac{m_2}{2}\left[\frac{m_1}{m_2}(v_1 - u_1)\right]^2$ என்பதை நாம் பெறுகிறோம்.

இச்சமன்பாட்டின் தீர்வுகளில் ஒன்று $u_1 = v_1$ என்பதாகும். இது $u_2 = 0$ என்னும் முடிவைக் கொடுக்கிறது. ஆனால், $u_1 = v_1$, $u_2 = 0$ என்னும் சமன்பாடுகள், பந்துகள் மோதலில் ஈடுபடவில்லை என்பதைக் குறிப்பாகச் சொல்வதால்,

இப்பதில் நமக்கு முக்கியமானதல்ல. ஆகவே நாம் சமன்பாட்டின் மற்றுமொரு தீர்வைக் கண்டுபிடிக்க விழைகிறோம். சமன்பாட்டை $m_1(v_1 - u_1)$ — ஆல் வகுத்தால்:

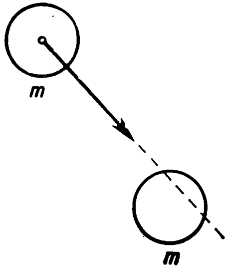
$$\frac{1}{2}(v_1 + u_1) = \frac{1}{2}\frac{m_1}{m_2}(v_1 - u_1)$$

என்பதை நாம் பெறுகிறோம்.
அதாவது $m_2v_1 + m_2u_1 = m_1v_1 - m_1u_1$, அல்லது $(m_1 - m_2) v_1 = (m_1 + m_2) u_1$. இச்சமன்பாடு, மோதலுக்குப் பின் முதல் பந்து பெற்றிருக்கும் வேகத்தை கீழ்வருமாறு தருகிறது:

$$u_1 = \frac{m_1 = m_2}{m_1 + m_2} v_1$$

ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் ஒரு பந்துடன் மேற்கொள்கிற நேருக்கு நேரான மோதுகையின் போது, இயங்குகிற பந்தின் பொருண்மை ஓய்வுநிலையிலிருக்கும் பந்தின் பொருண்மையைவிடக் குறைவாயிருந்தால், இயங்குகிற பந்து திருப்பப்படுகிறது. m_1 ஆனது m_2 வைக் காட்டிலும் பெரியதாக இருப்பின் மோதுகையின் திசையில் இரு பொருட்களும் இயக்கத்தைத் தொடர்கின்றன.

பில்லியர்டு விளையாட்டின் போது நிகழ்கின்ற சரியான நேருக்கு நேரான மோதுகையின் போது நாம் பெரும்பாலும் கீழ்வரும் காட்சியைப் பார்க்கலாம். இயங்குகிற பந்து திடீரென நிறுத்தத்துக்கு வருகிறது. மோதுகைக்கு இலக்கான பந்து குழியை நோக்கி ஓடுகிறது. இந்நிகழ்ச்சி நாம் சற்று முன்னர் தருவித்த சமன்பாட்டால் விளக்கப்படுகிறது. பந்துகளின் பொருண்மைகள் சமமாயிருக்கும் பொழுது $u_1 = 0$ என்னும் சமத்துவத்தைச் சமன்பாடு தருகிறது. ஆகவே $u_2 = v_1$. மோதுகிற பொருள் நின்று விடுகிறது. அதே நேரத்தில் இரண்டாவது பந்து முதல் பந்தின்



படம் 40

வேகத்துடன் இயக்கத்தைத் தொடர்கிறது. பந்துகள் வேகங்களைப் பறிமாற்றம் செய்து கொண்டது போன்று தோன்றுகிறது.

சமமான பொருண்மைகளையுடைய இரு பொருட்களுக்கிடையேயான சாய்வு மோதுகை (படம் 40) எனப்படும், இரு பொருட்களுக்கிடையேயான மோதுகையை மற்றுமொரு உதாரணமாக எடுத்துக் கொண்டு மீட்சி மோதுகைகளின் விதிக்குட்பட்டு ஆராய்வோம். மோதுகைக்கு முன்னுல் இரண்டாவது பொருள் ஒய்வு நிலையில் இருந்தது. ஆகவே உந்தம், ஆற்றல் ஆகியவற்றின் அழிவின்மை விதிகள் கீழ்வரும் வடிவத்தைப் பெற்றிருக்கின்றன:

$$mv_1 = mu_1 + mu_2,$$

$$m\frac{v_1^2}{2} = m\frac{u_1^2}{2} + m\frac{u_2^2}{2}.$$

பொருண்மையைப் பொதுவாகத் தள்ளுபடி செய்த பின்னர்:

$$v_1 = u_1 + u_2$$
$$v_1^2 = u_1^2 + u_2^2$$

என்னும் வடிவங்களை நாம் பெறுகிறோம்.

v_1 என்னும் திசையுளி, u_1, u_2 ஆகியவற்றின் திசையுளிக் கூட்டுத்தொகையாகும். ஆனால் திசைவேகத் திசையுளிகளின் எண்மதிப்புகள் ஒரு முக்கோணத்தை அமைக்கின்றன என்னும் அர்த்தத்தை இது கொண்டிருக்கிறது.

இம்முக்கோணம் எவ்வகையைச் சேர்ந்தது? பித்தகோர

சின் தேற்றத்தை நினைவில் கொள்ளவும். நமது இரண்டாவது சமன்பாடு இத்தேற்றத்தின் கொள்கையைக் குறிக்கிறது. திசைவேக முக்கோணமானது v_1 ஐக் கர்ணமாகவும், u_1, u_2 ஆகியவற்றைப் பக்கங்களாகவும் கொண்ட ஒரு செங்கோண முக்கோணமாக இருக்க வேண்டும் என்பதே இதன் பொருளாகும். ஆகவே u_1—ம் u_2—ம் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைகின்றன. சாய்வு மோதுகையின் போது சம பொருண்மையுடைய பொருள்கள் செங்குத்துத் திசையில் விலகிச் செல்கின்றன என்பதை இம்முக்கியமான முடிவு எடுத்துக்கூறுகிறது.

ஐந்து

அலைவுகள்

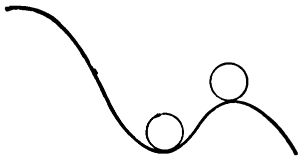
சமநிலை

சில நேரங்களில் சமநிலையை நிலைநிறுத்துதல் மிகக் கடினமாக இருக்கிறது. உதாரணமாக, இழுத்துக்கட்டப்பட்ட ஒரு கயிற்றின் மீது நடக்க முயற்சித்தல் மிகக் கடினமானதாகும். அதே நேரத்தில் அசைந்தாடுகிற நாற்காலியில் அமர்ந்திருக்கும் ஒருவரை யாரும் கை தட்டிப் பாராட்டுவதில்லை. ஆனால் அவரும் அவருடைய சமநிலையை நிலைநிறுத்தவே செய்கிறார்.

இவ்விரு உதாரணங்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடுதான் என்ன? எந்த உதாரணத்தில் சமநிலை பிரத்யேக முயற்சியின்றி ''அதுவாகவே'' நிலைநிறுத்தப்படுகிறது?

சமநிலைக்குத் தேவையான நிபந்தனை வெளிப்படையாயாகவே தெரிய வருகிறது. ஒரு பொருள் அதன் நிலையிலிருந்து இடப்பெயர்ச்சி அடையாமலிருக்க வேண்டுமாயின், அப்பொருளின் மீது செயல்படுகிற விசைகள் சரியீடு செய்யப்பட வேண்டும். இன்னொரு விதமாகக் கூறினால், இவ்விசைகளின் கூட்டுத்தொகை பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருத்தல் வேண்டும். ஒரு பொருளின் சமநிலைக்கு இது ஒரு அவசியமான நிபந்தனையாகும். ஆனால் இதுவே போதுமான நிபந்தனையாகுமா?

அட்டைப் பலகையின் உதவியால் எளிதில் அமைக்கமுடிகிற ஒரு மலையின் பக்கவாட்டுத் தோற்றம் படம் 41ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. மலையின் எந்தப் பகுதியில் பந்து வைக்கப்பட்டிருக்கிறதோ அதைப் பொறுத்து பந்து வித்தியாசமான பலவிதங்களில் இயங்குகிறது. மலைச்சரிவின் மீது ஒரு புள்ளியிலிருக்கும் பொழுது அப்பந்தைக் கீழ்நோக்கி உருளச் செய்கிற விசை ஒன்று அப்பந்தின் மீது செயல்படுகிறது. இவ்வாறு செயல்படும் விசை புவியீர்ப்பு விசையாகும். அல்லது மிகச் சரியாகக் கூறினால், நாம் கவனம் செலுத்துகிற புள்ளியின் வழியே செல்லக்கூடிய மலைப்பகுதியின் தொடுகோட்டின் மீது அமைக்கப்பட்ட புவியீர்ப்பு விசையின் எறிதலாகும். ஆகவே சரிவு குறைவாயிருந்தால் பந்தின் மீது செயல்படுகிற விசையும் எண்மதிப்பில் குறைவானதாகவே இருக்கும் என்பது தெளிவு!



படம் 41

எல்லாவற்றிற்கும் மேலாக, புவியீர்ப்பு விசையானது, ஆதாரத்தின் எதிர்வினையால் முழுவதுமாகச் சரியீடு செய்யப்பட்டு, அதனால் பந்தின் மீது செயல்படும் விசைகளின் தொகுபயன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் புள்ளிகளின் மீது நம் கவனத்தைத் திருப்புவோம். மலை உச்சிகளிலும், மிகத் தாழ்வான புள்ளிகளாகிய குழிகளிலும்தான் இந்நிபந்தனை பூர்த்தி செய்யப்படுகிறது. இப்புள்ளிகளில், தொடு இத்தகைய நிலைகளிலிருந்தும் விலக்கப்பட்ட பின்னர், பந்தைப் பழைய நிலைக்குத் திரும்பிக் கொண்டுவரும் ஒரு விசை அப்பந்தின் மீது செயல்படுகிறது. மலையின் உச்சியில் நிலைமை இதிலிருந்தும் மாறுபட்டிருக்கிறது. ஒரு பொருள் இத்தகைய நிலையிலிருந்து விடுபட்டுச் சென்றால், பழைய

நிலேக்குத் திருப்பிக் கொண்டு வருகிற விசை அப்பொருளின் மீது செயல்படாமல், அப்பொருளே மேலும் தூரமாக அனுப்புகிற விசையே அதன் மீது செயல்படுகிறது. ஆகவே விசைகளின் தொகுபயன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்க வேண்டும் என்பது உறுதிச் சமநிலேக்குத் தேவையான நிபந்தனேயே தவிர, போதுமான நிபந்தனே அல்ல.

மலே மேலிருக்கும் பந்து ஒன்றின் சமநிலேயை மற்ருெரு நோக்கு நிலேயிலிருந்தும் நோக்க முடியும். நிலே ஆற்றலானது, குழிகளில் சிறும மதிப்பையும், உச்சிகளில் பெரும மதிப்பையும் கொண்டிருக்கிறது. நிலே ஆற்றல் சிறும மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிற நிலேகளிலிருந்தும் இடப்பெயர்ச்சி அடைவதை ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி தடுக்கிறது. இப்படிப்பட்ட ஒரு இடப்பெயர்ச்சி எதிர் இயக்க ஆற்றலே ஏற்படுத்தும். ஆனுல் இங்கு எதிர் இயக்க ஆற்றல் என்பது சாத்தியமானதல்ல. ஆனுல் உச்சியில் இருக்கும் பொழுது நிலேமை முற்றிலும் கோடுகள் கிடைமட்டத்தில் இருக்கின்றன. பந்தின் மீது செயல்படும் விசைகளின் தொகுபயன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

ஆயினும், உச்சியிலிருக்கும் பொழுது, தொகுபயன் விசை பூச்சியமாக இருப்பது உண்மையாயிருப்பினுங்கூட நாம் அங்கு ஒரு பந்தை நிலேயாக வைக்க முடியாது. அவ்வாறு செய்ய முடிந்தாலுங்கூட, உராய்வே நமது வெற்றிக்கு உதவுகிற காரணமாகும் என்பதை நாம் உடனேயே கண்டு கொள்கிருேம். ஒரு இலேசான அழுத்தம், அல்லது ஒரு சாதாரண மூச்சு அலேயோ அவ்வுராய்வு விசையை வெற்றி கொள்கிறது. பந்து அவ்விடத்தை விட்டு நகர்ந்து கீழ் நோக்கி உருள்கிறது.

வழவழப்பான ஒரு மலேயின் மீதுள்ள குழிவுப் பகுதிகளின் தாழ்வான புள்ளிகளே, ஒரு வழவழப்பான பந்தின் சமநிலேயின் இருப்பிடங்களாகும். அழுத்தமோ அல்லது காற்

றுத் தொகுதியோ இந்நிலையிலிருந்து பந்தை இடம் பெயரச் செய்தால், அது தானகவே பழைய நிலைக்குத் திரும்புகிறது.

ஒரு குழிவுப் பகுதியிலோ அல்லது ஒரு பொத்தலிலோ அல்லது ஒரு தாழ்வான பகுதியிலோ ஒரு பொருள் சமநிலையில் இருக்கிறது என்பதைச் சந்தேகத்துக்கிடமின்றிக் கூறலாம். மாறுபட்டதாயிருக்கிறது. இப்புள்ளிகளிலிருந்தும் விலகிச் செல்லுதலின் பயனக நிலை ஆற்றலில் குறைவு ஏற்படுகிறது. ஆகவே இயக்க ஆற்றல் குறைவுபடாமல் அதிகரிக்கிறது.

ஆகவே, பக்கத்தில் அமைந்துள்ள புள்ளிகளில் உள்ள நிலை ஆற்றல்களை ஒப்பிடும் பொழுது, சமநிலை அமையப் பெற்றுள்ள புள்ளிகளின் நிலை ஆற்றல் சிறும மதிப்பைக் கொண்டிருக்க வேண்டும்.

குழியின் ஆழம் அதிகமாயிருப்பதைப் பொறுத்து, நிலைப் புத் தன்மையும் கூடுகிறது. ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியை நாம் நன்கு அறிந்திருக்கிறபடியால், எந்தச் சூழ்நிலைகளின் கீழ் ஒரு பந்து குழிந்த பகுதியிலிருந்து வெளிநோக்கி உருளும் என்பதை நாம் உடனடியாகக் கூறலாம். இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானல், குழியின் விளிம்பு வரை ஏறுவதற்குப் போதுமான இயக்க ஆற்றலைப் பொருளுக்குக் கொடுக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. குழியின் ஆழம் அதிகமா யிருந்தால், நிலைச் சமன்பாட்டைக் கலைப்பதற்குத் தேவை யான இயக்க ஆற்றலும் அதிகமாகிறது.

பொதுவான அலைவுகள்

குழியில் சமநிலையிலிருக்கும் பந்து ஒன்றை மேல்நோக் கித் தள்ளினல், அது படிப்படியாக இயக்க ஆற்றலை இழந்து கொண்டே மலையின் மேல் நோக்கி ஏற ஆரம் பிக்கும். இயக்க ஆற்றல் முழுவதுமாக இழக்கப்பட்ட நிலை யில் உடனடி நிறுத்தம் ஏற்பட்டுப் பின்னர் ஒரு கீழ்நோக்

கிய இயக்கம் தொடரும். இப்பொழுது நிலை ஆற்றல், இயக்க ஆற்றலாக மாற்றப்படும். பந்து வேகத்தைப் பெற்று, சடத்துவத்தினால் சமநிலைப் புள்ளியை வேகமாகக் கடந்து சென்று, எதிர்த் திசையில் ஏற ஆரம்பிக்கும். உராய்வு குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்கு அதிகம் இல்லாதிருந்தால், இத்தகைய ''மேல்நோக்கிய—கீழ்நோக்கிய'' இயக்கம் நீண்ட நேரம் தொடர முடிகிறது. இலட்சிய உதாரணத்தில் உராய்வு முழுவதுமாக இல்லாதிருக்கும் பொழுது இவ்வியக்கம் முடிவு எதுவுமின்றி தொடரும்.

ஆகவே, உறுதிச் சமநிலை அமையப் பெற்றுள்ள புள்ளிக்கு அருகில் ஏற்படுகிற இயக்கங்கள் அலைவுத் தன்மையுடையனவாய் இருக்கின்றன. ஊசலியில் செயல்படும் உராய்வைச் சிறுமமாகக் குறைப்பது எளிதாயிருக்கிறது என்னும் காரணத்தினால், அலைவுகளைப் பற்றி அறிந்து கொள்வதற்கு ஒரு குழியில் முன்னும் பின்னும் உருளுகிற பந்தைக் காட்டிலும், ஊசலியே மிகவும் ஏற்றதாயிருக்கிறது.

ஒரு ஊசலியின் குண்டு அதன் ஒரு கோடியை அடையும் பொழுது, அதன் திசைவேகமும் இயக்க ஆற்றலும் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கின்றன. அதன் நிலையாற்றல் பெருமமதிப்பைக் கொண்டிருக்கின்றது. குண்டு கீழிறங்குகிறது நிலையாற்றல் குறைகிறது. எஞ்சிய நிலையாற்றல் இயக்க ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. ஆகவே இயக்க வேகமும் அதிகரிக்கிறது. குண்டு அதன் தாழ்வான நிலையின் வழியே கடந்து செல்லும் பொழுது, அதன் நிலையாற்றல் சிறுமமாக இருக்கிறது. அதே நேரத்தில் இயக்க ஆற்றலும் வேகமும் பெருமமாக இருக்கின்றன. இயக்கம் தொடரும் பொழுது குண்டு திரும்பவும் மேல் நோக்கி எழுகிறது. இப்பொழுது வேகம் குறைகிறது; நிலையாற்றல் அதிகமாகிறது·

உராய்வினால் ஏற்படுகின்ற இழப்புகளை நாம் ஒதுக்கி விட்டால், குண்டு முதலாவதாக, இடது பக்கம் விலக்கப்

பட்ட அதே தூரத்துக்கு வலது பக்கமும் விலக்கப்படுகிறது. குண்டின் நிலையாற்றல், இயக்க ஆற்றலாக மாற்றப்பட்டு பின்னர் அதே அளவு புதிய நிலையாற்றல் உருவாக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதுவரை ஒரு பொது அலையின் முதல் பாதியை நாம் விவரித்திருக்கிறோம். இரண்டாவது பாதியும் இது போன்றுதான் நிகழ்கிறது. இப்பொழுது குண்டு எதிர்த்திசையில் இயங்குகிறது.

அலைவு இயக்கம், திரும்பத் திரும்ப நிகழும் ஒரு பருவ நிகழ்வு இயக்கமாகும். குண்டு அதன் ஆரம்ப நிலையை அடைந்த பின்னர், அதன் பாதை, திசைவேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தமட்டில், ஒவ்வொரு முறையும் அதன் இயக்கத்தைத் திரும்பச் செய்கிறது (உராய்வினால் ஏற்படுகிற மாறுதல்கள் கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ளப்படாவிடில்). ஒரு பொது அலைவுக்கு எடுத்துக் கொண்ட நேரம், அதாவது அது ஆரம்ப நிலைக்குத் திரும்புவதற்கு எடுத்துக் கொண்ட நேரம் முதல், இரண்டாவது மற்றும் பின் தொடர்கிற எல்லா அலைவுகளின் போதும் சர்வசமமாகவே இருக்கிறது. அலைகளின் மிக முக்கிய பண்புகளில் ஒன்றாகிய இந்நேரம் **அலைவு நேரம்** என அழைக்கப்படுகிறது. நாம் இதை T என்னும் எழுத்தால் குறிக்கிறோம். இந்நேரத்துக்குப் பின்னர் அலைவு செய்யும் பொருள் விசிம்பின் அதே புள்ளியில், அதே திசையில் இயங்கிக் கொண்டிருப்பதை நாம் எப்பொழுதும் காணலாம். பாதி அலைவு நேரத்துக்குப் பின்னர் பொருளின் இடப்பெயர்ச்சியும், இயக்கத்திசையும் குறிகளை மாற்றிக் கொள்கின்றன. அலைவு நேரமாகிய T, ஒரு அலைவு மேற்கொள்ள எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட நேரமாயிருப்பதால், ஒரு நேர அலகின் போது ஏற்படுத்தப்பட்ட அலைவுகளின் எண்ணிக்கையாகிய n, $1/T$—க்குச் சமமாயிருக்கும்.

உறுதிச் சமநிலையிலிருந்தும் அதிக தூரம் செல்லாமல்

இயங்குகிற ஒரு பொருளின் அலைவு நேரம் எவற்றைச் சார்ந்திருக்கிறது? குறிப்பாக, ஒரு ஊசலியின் அலைவு நேரம் எவற்றைச் சார்ந்திருக்கிறது? இக்கேள்வியை முதன் முதலாகக் கேட்டு, அதற்குப் பதிலளித்தவர் கலீலியோ ஆவார். நாம் இப்பொழுது கலீலியோவின் சூத்திரத்தைத் தருவிப்போம்.

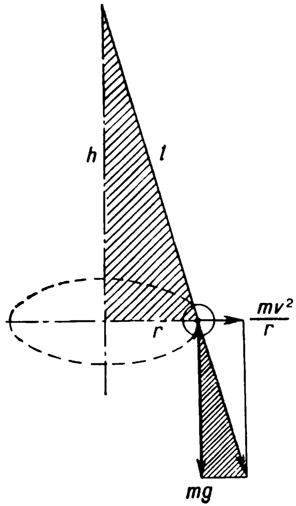
ஆயினும், சீரான முடுக்கமற்ற ஒரு இயக்கத்துக்கு, இயந்திரவியலின் விதிகளை அடிப்படை மட்டத்தில் உபயோகிப்பது கடினமாயிருக்கிறது. ஆகவே இந்த இடர்ப்பாடு எழாமலிருப்பதற்காக, ஊசலியின் குண்டினை ஒரு நிலைக்குத்துத் தளத்தில் அலைவுறச் செய்யாமல், எந்நேரமும் ஒரே உயரத்தில் இருந்து கொண்டு, ஒரு வட்டப் பாதையைச் சுற்றி வரச் செய்வோம். இத்தகையதொரு இயக்கத்தை ஏற்படுத்துவது கடினமான ஒரு செயல் அல்ல. ஊசலியை அதன் சமநிலையிலிருந்து விலக்கி, இப்புள்ளியின் வழியே செல்லக்கூடிய ஆரத்துக்குச் செங்குத்தான திசையில் செயல்படுமாறு, சரியாகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட ஒரு விசையுடன் கூடிய ஆரம்ப உந்தத்தை அதற்குக் கொடுக்கவேண்டியிருந்தது.

இத்தகையதொரு ''கூம்பு ஊசலி'' படம் 42ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. m என்னும் பொருண்மையுடைய ஒரு குண்டு ஒரு வட்டத்தைச் சுற்றி இயங்குகிறது. ஆகவே mg என்னும் ஈர்ப்பு விசையைத் தவிர $\frac{mv^2}{r}$ என்னும் மையவிலக்கு விசையும் அப்பொருளின் மீது செயல்படுகிறது. இம் மையவிலக்கு விசையை $4\pi^2n^2rm$ என்ற வடிவிலும் நாம் எழுதலாம். இதில் n எனப்படுவது ஒரு விநாடியில் சுற்றுகிற சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கையாகும். ஆகவே மையவிலக்கு விசைக்கான நம் எண்ணுருக்கோவையை $\frac{4\pi^2rm}{T^2}$ எனவும்

நாம் எழுதலாம். இவ்விரு விசைக ளின் தொகுபயன் ஊசலியின் நூலை இழுக்கிறது.

விசை முக்கோணம், தூர முக் கோணம் ஆகிய இரு வடிவொத்த முக்கோணங்கள் நமது படத்தில் ஓவிய நிழற்கூறு இட்டுக் காட்ட ப்பட்டிருக்கின்றன. ஒத்த பக்கங் களின் விகிதங்கள் சமமாயிருக்கின் றன, அதாவது

$$\frac{mgT^2}{m\,4\,\pi^2 r}=\frac{h}{r} \text{ அல்லது } T=2\,\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$$



படம் 42

ஒரு ஊசலியின் அலைவு நேரம் எந்தெந்தக் காரணிகளைச் சார்ந் திருக்கிறது? பூமியின் மேல் ஒரே இடத்தில்(மாறுமலிருக்கிறது) நாம் பரிசோதனைகளைச் செய்தோமேயானுல் அலைவு நேரம், தொங் குதானத்துக்கும் குண்டின் புவியீர்ப்பு மையத்துக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. குண் டின் பொருண்மை, எப்பொழுதுமே ஈர்ப்பு புலத்திலேயே இருப்பதால், அலைவு நேரத்தைப் பாதிப்பதில்லை.

கீழ்வரும் சூழ்நிலை நம் கவனத்தை வெகுவாகக் கவரு கிறது. உறுதிச் சமநிலைக்கு அருகில் நடைபெறும் இயக் கத்தைப் பற்றி நாம் ஆராய்ந்து கொண்டிருக்கிறோம். ஆனுல் விலக்கம் சிறிதாயிருக்கையில், h எனும் உயரத்தின் வித்தி யாசத்தை, ஊசலியின் நீளமாகிய l—ஆல் மாற்றீடு செய் யலாம். இதை மிக எளிதில் மெய்ப்பிக்கலாம். ஊசலியின்

நீளம் 1 மீ ஆகவும் விலக்கத்தின் ஆரம் 1 செ.மீ ஆகவும் இருந்தால்

$$h = \sqrt{10{,}000 - 1} = 99{,}995 \text{ செ.மீ.}$$

விலக்கம் 14 செ.மீ ஆக இருக்கும்போதுதான் h,l ஆகியவற்றுக்கிடையேயான வித்தியாசம் 1%—ஐ எட்டுகிறது. ஆகவே சமநிலையிலிருந்தும் அதிக விலக்கம் கொண்டிராத ஊசிலியின் சுய அலைவுகளின் அலைவு நேரம்

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ என்ருகிறது. அதாவது அலைவு நேரம், ஊசிலியின் நீளத்தையும், பரிசோதனை செய்யப்படுகிற இடத்தில் இருக்கிற ஈர்ப்பு முடுக்கத்தின் எண்மதிப்பையும் மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறதேயன்றி சமநிலையிலிருந்தும், அதன் விலக்க அளவையும் பொறுத்ததல்ல.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ என்னும் சூத்திரம் ஒரு கூம்பு ஊசிலிக்காக நிரூபிக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆனுல் தனித்தள ஊசிலி ஒன்றுக்கு இச்சூத்திரம் எவ்வாறு தோன்றும்? இதற்கான சூத்திரமும் இவ்வடிவத்தையே கொண்டிருக்கிறது எனத் தெரிய வருகிறது. இதை நாம் முறைப்படி நிரூபிக்கப் போவதில்லை. ஆனுல், ஒரு கூம்பு ஊசிலியின் குண்டு ஒரு சுவரின் மேல் விழச் செய்த நிழல் கிட்டத்தட்ட ஒரு தள ஊசிலியைப் போன்று அலைவுறுகிறது என்ற உண்மையின் பக்கம் நம் கவனத்தைத் திருப்புவோம். குண்டு, ஒருமுறை வட்டத்தைச் சுற்றி வரும் அதே நேரத்தில் நிழல் ஒரு அலைவைச் செய்து முடிக்கிறது.

சமநிலையை மையமாகக் கொண்ட சிறு அலைவுகளின் உபயோகத்தால், நேரத்தை மிகத் துல்லியமாகக் கணிக்க முடிகிறது.

மரபு வழிக் கதையின்படி கலீலியோ கிறித்துவர்களின் பிரதான ஆலயத்தில், இரு மிகப் பெரிய சரவிளக்குச் சட்

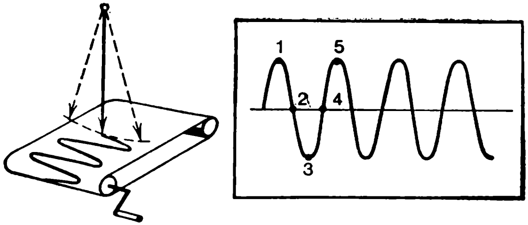
டங்கள் எவ்வாறு ஊசலாடுகின்றன என்பதை ஆராதனை செய்யும் நேரத்தில் உற்று நோக்கிக் கொண்டிருக்கும் போதுதான், ஊசிலியின் அலைவு நேரம், வீச்சு, பொருண்மை ஆகியவற்றைப் பொறுத்ததல்ல என்பதை நிரூபித்தார்.

ஆகவே, ஒரு ஊசிலியின் அலைவு நேரம் அதன் நீளத்தில் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. ஆகவே, ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள ஊசிலியின் அலைவு நேரம், 25 செ.மீ நீளம் கொண்ட ஊசிலியின் அலைவு நேரத்தைப் போல இரு மடங்காயிருக்கிறது. ஒரே ஊசிலி பூமியின் வெவ்வேறு குறுக்கையளவுகளில் சம வேகத்துடன் அலைவுறுது என்பதும், ஊசிலியின் அலைவு நேரத்துக்கான நமது சூத்திரத்திலிருந்து தெரிய வருகிறது. நாம் நில நடுக்கோட்டை நெருங்கும் பொழுது, ஈர்ப்பு முடுக்கம் குறைகிறது; அலைவு நேரம் அதிகமாகிறது.

அலைவு நேரத்தை மிகவும் துல்லியமாக அளத்தல் சாத்தியமானதே. ஆகவே ஈர்ப்பு முடுக்கத்தை மிகத் துல்லியமாக அளப்பதற்கு ஊசிலிகளுடன் கூடிய பரிசோதனைகள் நமக்கு பெரிதும் உதவுகின்றன.

அலைவுகளைக் காட்சியமைவு செய்தல்

ஒரு ஊசிலியின் குண்டுடன் மெல்லிய எழுதுகோல் ஒன்றைப் பொருத்தி எழுதுகோல் ஒரு காகிதத்தைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்படியாக ஊசிலியை காகிதத்திற்கு மேலே தொங்கவிடவும் (படம் 43). இப்பொழுது நாம் ஊசிலியை லேசாக விலக்குகிறோம். அலைவுறுகிற எழுதுகோல் காகிதத்தின் மீது சிறு துண்டுக் கோடு ஒன்றை வரைந்திருக்கும். அலைவு மையத்தில், அதாவது ஊசிலி அதன் சமநிலையைக் கடந்து செல்லும் பொழுது, எழுதுகோல் வரைந்த கோடு தடிப்பாக இருக்கிறது. ஏனெனில் இப்புள்ளியில் எழுதுகோல்



படம் 43

அதிகக் கடினமாகக் காகிதத்தைக் கீழ்நோக்கி அழுத்துகிறது. அலைவுத் தளத்துக்குச் செங்குத்தான ஒரு திசையில் நாம் காகிதத் துண்டை இழுத்தோமேயானால், படம் 43ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் வளைகோடு வரையப்படும். இவ்வாறு கிடைக்கப் பெற்ற அலைச்சில்கள் (wavelets) காகிதம் மெதுவாக இழுக்கப்படும் பொழுது அடர்த்தியாகவும், காகிதம் சிறிது வேகமாக நகர்ந்தால், அடர்த்தி குன்றியும் இருக்கும் என்பதை நாம் எளிதாகப் புரிந்து கொள்ளலாம். வளைகோடு சரியான முறையில் வரையப்பட வேண்டுமாயின் காகிதத் துண்டு ஒரே சீராக நகர வேண்டியிருக்கிறது. 131

இம்முறையில், ஒருவகையாக நாம் அலைவுகளைக் ''காட்சியமைவு செய்திருக்கிறோம்.''

ஒவ்வொரு நேரத்திலும், ஊசலிக் குண்டு எந்த இடத்தில் இருந்தது? எந்தத் திசையில் நகர்ந்து கொண்டிருந்தது? என்ற கேள்விகளுக்குப் பதில் அளிக்க வேண்டுமானால், காட்சியமைவு அவசியமாயிருக்கிறது. ஊசலி மையப் புள்ளியிலிருந்து இடப்பக்கவாட்டில், கூடிய மட்டும் அதிக தூரத்திலிருக்கும் பொழுது காகிதம் 1 செ.மீ/விநாடி என்னும் வேகத்துடன் நகருவதாகக் கற்பனை செய்யவும். இந்த ஆரம்ப நிலை, நமது வரைபடத்தில் 1 எனக் குறிக்கப்பட்டிருக்கும் புள்ளியுடன் இயைந்திருக்கிறது. அலைவு நேரத்தில்

1/4 பகுதிக்குப் பின்னர், ஊசலி மையப் புள்ளியைக் கடந்து செல்கிறது. இந்நேரத்திற்குள், காகிதம் $T/4$ செ.மீ தூரம் நகர்ந்து விட்டது (படத்தில் 2 என்ற புள்ளி). இப்பொழுது ஊசலி வலப்புறமாக நகர்கிறது. அதே நேரத்தில் காகிதமும் நகர்ந்து செல்கிறது. ஊசலி அதன் வலக் கோடி நிலைக்கு வரும் பொழுது காகிதம் $T/2$ செ.மீ தூரம் நகர்ந்திருக்கும் (படத்தில் 3 என்ற புள்ளி). ஊசலி திரும்பவும் மையப் புள்ளியை நோக்கி நகர்கிறது. $3T/4$ என்னும் நேரத்தில் அதன் சமநிலையை அடைகிறது (படத்தில் 4 என்னும் புள்ளி). 5 என்று குறியிடப்பட்ட புள்ளியுடன் ஒரு முழு அலைவு நிறைவு பெறுகிறது. இதன் பின்னர், ஒவ்வொரு T விநாடிகளுக்குப் பின் அல்லது வரைபடத்தில் T செ.மீ தூரத்துக்குப் பின் இவ்வியக்கம் திரும்பவும் நிகழ்கிறது.

வரைபடத்தில், ஒரு நிலைக்குத்துக் கோடு, சமநிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற ஒரு புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சியின் அளவுத்திட்டமாக (scale) அமைகிறது. அதே நேரத்தில் மத்தியில் அமைந்திருக்கிற கிடைக்கோடு நேரத்தின் அளவுத்திட்டமாக இருக்கிறது.

ஒரு அலைவை முழுமையாகக் குறிக்கிற இரு பண்புகளின் எண்மதிப்புகளை இத்தகைய வரைபடம் ஒன்றிலிருந்தும் எளிதில் கண்டுபிடிக்க முடிகிறது. இரு இணைமாற்றுப் புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட உதாரணமாக, அடுத்தடுத்த இரு உச்சிகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்திலிருந்தும், அலைவு நேரத்தைக் கணக்கிட முடிகிறது. சமநிலையிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட குண்டின் பெரும் இடப்பெயர்ச்சியையும் உடனேயே அளக்க முடிகிறது. இந்த இடப்பெயர்ச்சியே அலையின் வீச்சு என அழைக்கப்படுகிறது.

மேலும் அலைவைக் காட்சியமைவு செய்வதன் மூலம் ஒவ்வொரு நேரத்திலும், அலைவு செய்யும் புள்ளி எங்கிருக்

கிறது? என்று நாம் மேலே கேட்ட கேள்விக்கு பதிலளிக்க முடிகிறது. உதாரணமாக, 3 விஞடிகள் என்னும் அலைவு நேரத்தைக் கொண்ட இடப்பக்கக் கோடியிலிருந்து ஆரம் பமான ஒரு அலைவு இயக்கத்தில், 11 விஞடிகளுக்குப் பின்னர், அலைவுறும் புள்ளி எந்நிலையில் இருக்கிறது? ஒவ் வொரு 3 விஞடிகளுக்குப் பின்னரும், அலைவு ஒரே புள்ளி யிலிருந்து தொடங்குகிறது. ஆகவே, 9 விஞடிகளுக்குப் பின்னர் அப்புள்ளி இடப்பக்கக் கோடி நிலையிலேயே இருக் கிறது.

இதனுல் ஒரு வரைபடம் பல அலைவு நேரங்கள் வரையி லும் நீட்டிக்கப்படுகிற வளைகோட்டைக் கொண்டிருக்க வேண்டும் என்பது அவசியமில்லை. ஒரு அலைவை விவரிக் கிற வளைகோட்டைக் கொண்டிருக்கிற ஒரு படமே போது மானதாக இருக்கிறது. அலைவு நேரம் 3 விஞடிகளாயிருக் கும் பொழுது, அலைவுறுகிற புள்ளி இரண்டு விஞடிகளுக் குப் பின்னர் அமைந்திருக்கிற அதே நிலையிலேயே 11 விஞ டிகளுக்குப் பின்னரும் இருக்கிறது. நமது வரைபடத்தில் 2 செ.மீ தூரத்தைக் குறிப்பிட்ட பின்னர் (காகிதம் 1 செ.மீ விஞடி வேகத்துடன் இழுக்கப்படுவதாக நாம் நிர்ண யித்திருக்கிருேம்) 11 விஞடிகளுக்குப் பின்னர் அலைவுறும் புள்ளி அதன் இடப்புறக் கோடி நிலையிலிருந்து, அதன் சமநிலைக்குச் செல்லும் வழியிலிருக்கிறது என்பதை நாம் பார்க்கிருேம். இந்நேரத்தில் ஏற்பட்டிருக்கும் இடப்பெயர்ச் சியின் எண்மதிப்பைப் படத்திலிருந்தும் நாம் குறித்துக் கொள்ளலாம்.

ஒரு புள்ளி அதன் சமநிலையை மையமாகக் கொண்டு மேற் கொள்கிற சிறு அலைவுகளின் இடப்பெயர்ச்சியின் எண் மதிப் பைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு ஒரு வரைபடத்தை நோக்க வேண் டிய அவசியம் இல்லை. இந்நிபந்தனையின் நேரத்தின் மீதான இடப்பெயர்ச்சியின் சார்பு ஒரு சைன் வகையைச் சார்ந்த

வளைகோடாக இருக்கிறது என்பதை அறிவியல் கொள்கை நிரூபிக்கிறது. அலைவுறும் புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சியை y எனவும், வீச்சை a எனவும், அலைவு நேரத்தை T எனவும் நாம் குறிப்போமேயானுல், அலைவுறத் தொடங்கி t நேரத்துக்குப் பின்னர், அப்புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சியின் எண் மதிப்பைக் கீழ்வரும் சூத்திரத்திலிருந்து கண்டு கொள்ளலாம்:

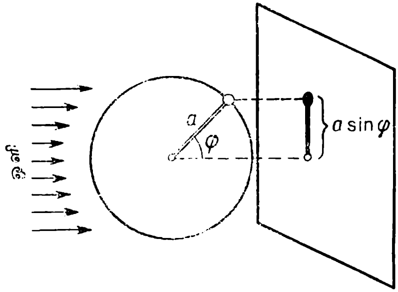
$$y=a\sin 2\pi\frac{t}{T}.$$

இவ்விதிக்குட்பட்டு நடைபெறுகிற ஒரு அலைவு, சீரிசை (harmonic) அலைவு என அழைக்கப்படுகிறது. சைனின் சார்பளவைச் சுட்டு (argument) 2π, t/T ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. $(2\pi t/T)$ என்னும் கணியம் கட்டம் (phase) என அழைக்கப்படுகிறது.

திரிகோணமிதி அட்டவணையை நம் கையில் வைத்துக்கொண்டு அலைவு நேரத்தையும், வீச்சையும் தெரிந்து, அலைவு செய்யும் ஒரு புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சியின் எண்மதிப்பை நாம் எளிதில் கணக்கிட்டு அறிய முடிகிறது. அத்துடன், கட்டத்தின் மதிப்பிலிருந்தும், அப்புள்ளி எத்திசையில் சென்று கொண்டிருக்கிறது என்பதையும் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல முடிகிறது.

வட்டத்தைச் சுற்றி இயங்குகிற ஒரு குண்டு சுவரின் மீது விழச் செய்த நிழலின் இயக்கத்தைப் பரிசீலிப்பதிலிருந்தும், அலைவு இயக்கத்தின் இச்சூத்திரத்தைத் தருவிப்பது கடினமானதல்ல.

நிழலின் மையநிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற அதன் இடப்பெயர்ச்சிகளை நாம் குறித்துக் கொள்வோம். அதன் கோடி நிலைகளில், இடப்பெயர்ச்சியாகிய y, வட்டத்தின் ஆரமாகிய a—க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இதுவே நிழல் மேற்கொள்கிற அலைவின் வீச்சாகும்.



படம் 44

குண்டு மையநிலையிலிருந்து φ என்னும் கோண அளவு, வட்டத்தைச் சுற்றியிருந்தால், அதன் நிழல், மையப்புள்ளியிலிருந்து a sin+φ அளவு விலகியிருக்கும் (படம் 44).

குண்டு மேற்கொள்ளுகிற இயக்கத்தின் சுழற்சி நேரம் T என்றிருக்கட்டும் (இதுவே நிழலின் அலைவு நேரமாகவும் இருக்கிறது). T என்னும் நேரத்தில் குண்டு 2π என்னும் ஆரைக்கோணத்தைக் (radians) கடந்து செல்கிறது என்பதே இதன் அர்த்தமாகிறது. $\varphi/t=2\pi/T$ என்னும் விகிதச் சமன்பாட்டை நாம் அமைப்போம். இங்கு t என்பது φ என்பது கோண அளவுச் சுற்றுவதற்குத் தேவையான நேரமாகும்.

இதனால், $\varphi=\frac{2\pi}{T}t$ ஆகும்; $y=a\sin\frac{2\pi t}{T}$ ஆகும்.

இதையே நாம் சரியாக நிரூபிக்க விரும்பினோம்.

அலைவுறுகிற புள்ளியின் திசைவேகமும் சைன் விதிக்குட்பட்டே மாறுதலடைகிறது. வட்டத்தைச் சுற்றி இயங்குகிற ஒரு குண்டின் இயக்கத்தைப் பற்றிய அதே வகையான காரணங்கள் இம்முடிவுக்கு வழிகாட்டுகின்றன. இந்தக் குண்டின் திசைவேகமானது v_0 என்னும் மாறிலி எண்மதிப்பைக் கொண்ட ஒரு திசையுளியாகும். திசைவேகத் திசையுளி குண்டுடன் சேர்ந்து சுழல்கிறது. இத்திசைவேகத் திசையு

யுளியை, நிழல் வீசக்கூடிய உடல் சார்ந்த ஒரு அம்புக்குறியாக நினைத்துக் கொள்வோம். குண்டு கோடி நிலைகளிலிருக்கும் பொழுது இத்திசையுளி ஒளிக்கதிரின் திசையில் அமைந்திருக்கிறது; ஆகவே நிழல் வீசப்படுவதில்லை. குண்டு ஒரு கோடியிலிருந்து θ என்னும் கோண அளவு வட்டத்தைச் சுற்றி இயங்கியிருக்கும் பொழுது, திசைவேகத் திசையுளியும் அதே கோண அளவு சுற்றியிருக்கும். ஆகவே இதன் எறிதல் $v_0 \sin\theta$—க்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆனல் முன்னல் பார்த்த அதே காரணத்தினல், $\frac{\theta}{t}=\frac{2\pi}{t}$ ஆகும். ஆகவே, அலைவுறும் பொருளின் உடனடிவேகம்,

$$v=v_0 \sin\frac{2\pi}{T}\ t$$ என்ருகிறது.

இடப்பெயர்ச்சியின் எண் மதிப்பைக் கணக்கிடுவதற்கு உபயோகப்படுத்தும் சூத்திரத்தில், மைய நிலையில் இருக்கும் பொழுது, நேரம் பூச்சியத்துக்குச் சமமாகக் குறிக்கப்பட்டிருப்பதையும், வேகத்துக்கான சூத்திரத்தில், ஒரு கோடி நிலையில் இருக்கும் பொழுது, நேரம் பூச்சியமாகக் குறிக்கப்படுவதையும் கவனிக்கவும். குண்டு மையநிலையில் இருக்கும் பொழுது ஊசிலியின் இடப்பெயர்ச்சி பூச்சியமாயிருக்கிறது. ஆனல் அலைவு வேகம், கோடி நிலைகளில் இருக்கும் பொழுதே பூச்சியமாயிருக்கிறது.

அலைவு வேகத்தின் பெரும மதிப்பாகிய v_0 க்கும், இடப்பெயர்ச்சியின் பெரும மதிப்பாகிய (வீச்சு) a—க்கும் இடையே எளிய சம்பந்தம் ஒன்று இருக்கிறது. அலைவு நேரமாகிய T க்குச் சமமான நேரத்தில், குண்டு $2\pi a$ என்னும் பரிதியைக் கொண்டுள்ள வட்டத்தை ஒருமுறை சுற்றி வருகிறது. ஆகவே $v_0=\frac{2\pi a}{T}$ ஆகும். ஆகவே $v=\frac{2\pi a}{T}\sin\frac{2\pi t}{T}$.

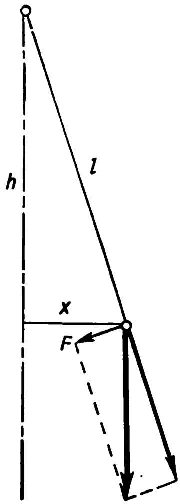
அலையின் போது ஏற்படுகிற விசையும் நிலையாற்றலும்

ஒரு சமநிலையை மையமாகக் கொண்ட ஒவ்வொரு அலையின் போதும், அலைவுறுகிற பொருளைச் சமநிலைக்குத் திருப்பிக் கொண்டு வர விரும்புகிற ஒரு விசை அப்பொருளின் மேல் செயல்படுகிறது. பொருள் சமநிலையிலிருந்து விலகிச் செல்லும் பொழுது இவ்விசை அதன் இயக்கத்தை ஒடுக்குகிறது; பொருள் இந்நிலையை நெருங்கும் பொழுது விசை அதன் இயக்கத்தை முடுக்குகிறது.

நாம் ஒரு ஊசலியை உதாரணமாக எடுத்துக் கொண்டு இவ்விசையைப் பற்றி ஆராய்வோம். ஈர்ப்பு விசை, கயிற்றின் இழுவிசை ஆகிய இவ்விசைகள் ஊசலிக் குண்டின் மீது செயல்படுகின்றன. ஈர்ப்பு விசையைக் கயிற்றின் திசையில் ஒன்றும், இதற்குச் செங்குத்தான திசையில், அதாவது பாதையின் தொடுகோட்டுத் திசையில் மற்றொன்றுமாக, இரு ஆக்கக்கூறுகளாகப் பிரிவீடு செய்வோம். ஈர்ப்பு விசையின் தொடுகோட்டு ஆக்கக்கூறுதான் இயக்கத்துக்கு இன்றியமையாததாக இருக்கிறது. இந்த ஆக்கக்கூறுதான் நம் உதாரணத்தில் மீட்சி விசையாகச் செயல்படுகிறது. கயிற்றின் திசையில் அமைந்திருக்கிற விசையின் ஆக்கக்கூறானது, ஊசலி தொங்கிக் கொண்டிருக்கிற ஆணியின் எதிர்வினையால் சரியீடு செய்யப்படுகிறது. ஆகவே அலைவுறும் பொருளின் எடையை இக்கயிறு தாங்குமோ? என்பதை அறிய விரும்பும் பொழுது மட்டுமே இந்த ஆக்கக்கூற்றை நாம் கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது.

குண்டினுடைய இடப்பெயர்ச்சியின் எண்மதிப்பை x எனக் குறிக்கவும். உண்மையில் ஒரு விற்பாதையின் மீது இயக்கம் நடைபெறுகிறது. ஆனால் சமநிலைக்கு அருகில் ஏற்

படுகிற அலைவுகளைப் பற்றி ஆராய்வதென நாம் முடிவுசெய்திருக்கிறோம். ஆகவே விற்பாதையின் மீது ஏற்பட்ட இடப்பெயர்ச்சியின் எண்மதிப்பு, நிலைக்குத்துக் கோட்டிலிருந்து குண்டு அடைந்திருக்கும் விலக்கம் ஆகியவற்றுக்கிடையே எவ்வித வித்தியாசத்தையும் நாம் ஏற்படுத்தவில்லை. வடிவொத்த இரு முக்கோணங்களைப் படத்தில் பார்க்கவும் (படம் 45). ஒத்த அடிப்பக்கங்களின் விகிதம் கர்ணங்களின் விகிதங்களுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. அதாவது, $\frac{F}{x}=\frac{mg}{l}$ அல்லது $F=\frac{mg}{l}x$.



படம் 45

அலைவினது போ $\left(\frac{mg}{l}\right)$ என்னும் கணியம் மாறுவதில்லை. நாம் இம்மாறிலியை k எனக் குறித்தால், மீட்சி விசையாகிய F, $F=kx$ என்னும் சூத்திரத்தால் அறிவிக்கப்படுறது. நாம் கீழ்வரும் முக்கியமான முடிவுக்கு வருகிறோம்: மீட்சி விசையின் எண்மதிப்பானது, சமநிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற அலைவுப் புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சியின் எண்மதிப்புக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. அலைவுறும் பொருள்களின் கோடி நிலைகளில், மீட்சி விசை பெரும மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. பொருள் மையப் புள்ளியைக் கடந்து செல்லும் பொழுது விசை முதலில் மறைந்துப் பின் குறியீட்டை மாற்றுகிறது, அல்லது திசையை மாற்றுகிறது என நாம் கூறலாம். பொருள் வலப்பக்கமாக இடம் பெயர்ந்திருக்கும் பொழுது விசை இடப்புறம் நோக்கிச் செயல்படுகிறது. இட

ப்புறமாக இடம் பெயர்ந்திருக்கும் பொழுது விசை வலப்பு றம் நோக்கிச் செயல்படுகிறது.

ஊசிலி, அலைவுறும் பொருளின் மிக எளிய உதாரண மாக அமைகிறது. ஆயினும், நாம் இதுவரை கண்ட சூத் திரங்களையும், விதிகளையும் எதேச்சையான அலைவுகளுக்கும் நீட்டிப்பதற்கான சாத்தியக்கூறுகளில் நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கிறோம்.

ஒரு ஊசிலியின் அலைவு நேரம் அதன் நீளத்தின் சார்பாக அறிவிக்கப்பட்டது. இத்தகையதொரு சூத்திரம் ஒரு ஊசிலிக்கு மட்டுமே பொருந்துகிறது. ஆனால் சுய அலை வுகளின் அலைவு நேரத்தை, மீட்சி விசை மாறிலியாகிய k—ன் சார்பாகச் சொல்லலாம். $k=\frac{mg}{l}$ ஆக இருப்ப தால், $\frac{l}{g}=\frac{m}{k}$ என்னும் சமன்பாட்டை நாம் பெறுகிறோம். ஆகவே,

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

எந்த ஒரு சுய அலைவும், மீட்சி விசை ஒன்றின் செயற் பாட்டின் கீழ் நடைபெறுகிறபடியால் மேற்கூறப்பட்ட சூத்திரத்தை எத்தரப்பட்ட அலைவுறுகளுக்கும் பயன்படுத் தலாம்.

இப்பொழுது நாம் ஊசிலியின் நிலையாற்றலைச் சம நிலை யிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற அதன் இடப்பெயர்ச்சியாகிய x—ன் சார்பாகத் தெரிவிப்போம். குண்டு மிகத் தாழ்வான நிலையைக் கடந்து செல்லும் பொழுது, அதன் நிலையாற் றல் பூச்சியமாக இருப்பதாக நாம் எடுத்துக் கொள்வோம். பின்னர், அதன் ஏற்றத்தின் உயரத்தை இப்புள்ளியிலிருந் துதான் அளக்க வேண்டும். தொங்குதானம், விலக்கப்பட்ட குண்டின் மட்டம் ஆகியவற்றின் உயரங்களின் வித்தியா சத்தை h எனக் குறித்தால், நிலையாற்றலை $U=mg(l-h)$

என்னும் சூத்திரத்தால் நாம் தெரிவிக்கிறோம். அல்லது, இரு மடிகளின் வித்தியாசத்துக்கான சூத்திரத்தைப் பயன் படுத்தி, $U = mg\,\frac{(l^2 - h^2)}{(l+h)}$ எனவும் குறிக்கலாம். ஆனால் படத்தில் பார்ப்பது போல் $l^2 - h^2 = x^2$; l. hனின்றும் மிகச் சிறிதளவே வேறுபட்டிருப்பதால் $(l+h)$ஐ $2l$ ஆல் மாற்றீடு செய்யலாம். ஆகவே

$$U = \frac{mgx^2}{2l} \text{ அல்லது } U = \frac{kx^2}{2}$$

அலைவுறுகிற பொருளின் நிலையாற்றலானது, சமநிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற அதன் இடப்பெயர்ச்சியின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

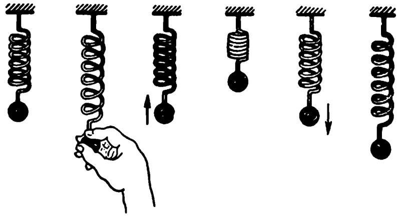
நாம் சற்று முன்னர் தருவித்த சூத்திரம் சரியானதா என்பதை ஆராய்வோம். நிலையாற்றலின் இழப்பு, மீட்சி விசை ஆற்றிய வேலைக்குச் சமமாயிருக்க வேண்டும். x_2, x_1 என்பனவற்றால் குறிக்கப்படுகிற, பொருளின் நிலைகளில் இரண்டினைப் பரிசீலனை செய்யவும், நிலையாற்றல்களின் வித்தியாசம்

$$U_2 - U_1 = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2} = \frac{k}{2}(x_2^2 - x_1^2)$$

என்னும் சூத்திரத்தால் அறியப்படுகிறது. ஆனால் இருமடிகளின் வித்தியாசத்தை, கூட்டுத்தொகை, வித்தியாசம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனாக எழுதலாம். ஆகவே

$$U_2 - U_1 = \frac{k}{2}(x_2 + x_1)(x_2 - x_1) = \frac{kx_2 + kx_1}{2}(x_2 - x_1)$$

ஆனால் $(x_2 - x_1)$ என்பது பொருள் கடந்து சென்ற பாதையின் நீளமாகவும், kx_1, kx_2 ஆகியவை முறையே இயக்கத்தின் தொடக்கத்தின் போதும், முடிவின் போதும் செயல்பட்ட மீட்சி விசைகளின் எண்மதிப்புகளாகவும், $\frac{kx_1 + kx_2}{2}$



படம் 46.

சராசரி விசைக்குச் சமமாகவும் இருக்கின்றன. நம் சூத்திரம் நமக்குச் சரியான முடிவையே தந்திருக்கிறது. நிலையாற்றலின் இழப்பு செய்யப்பட்ட வேலைக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

விற்களின் அலைவுகள்

ஒரு வில்லிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிற பந்து ஒன்றை அலைவுறச் செய்வது எளிதாயிருக்கிறது. வில்லின் ஒரு முனையைக் கட்டிய பின்னர் பந்தை இழுக்கவும் (படம் 46). நாம் கையால் பந்தை இழுத்துக் கொண்டிருக்கும் வரையில் வில் நீட்டப்பட்ட நிலையில் இருக்கும் நாம் கையை எடுத்து விட்டால், வில்லின் நீட்சி குறைந்து, பந்து அதன் சமநிலையை நோக்கிச் செல்கிறது. ஊசிலியைப் போன்றே வில் உடனடியாக ஓய்வு நிலையை அடைவதில்லை. சடத்துவத்தினல், சமநிலையைக் கடந்து சென்று, பின்னர் வில் சுருங்க ஆரம்பிக்கும். பந்தின் வேகம் தடைப்பட்டு, ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அது இடைநிறுத்தத்துக்கு வந்துப் பின்னர் உடனடியாக எதிர்த்திசையில் செல்ல ஆரம்பிக்கிறது. ஊசிலியைப் பற்றிய நமது ஆராய்ச்சி அறிமுகப்படுத்திய, அதே சிறப்பு அம்சங்களுடன் கூடிய ஒரு அலைவு தோன்றுகிறது.

உராய்வு இல்லாமலிருந்தால், கால வரம்பின்றி அலைவு

தொடர்கிறது. உராய்வு இருந்தால் அலைவு வீச்சில் குறைவு படுகிறது. மேலும், உராய்வு அதிகமாயிருந்தால், அலைவு களின் வீச்சு அதிக வேகமாகக் குறைக்கப்படுகின்றன.

வில், ஊசிலி ஆகியவற்றின் செயல்கள் ஒத்த பண்பு டையனவாய் இருக்கின்றன. கடிகாரங்களில் அலைவு நேரம் மாறுமல் காப்பதற்கு இவ்விரண்டுமே பயன்படுகின்றன. ஒரு சிறு கனச் சுழலியுடன் பொருத்தப்பட்ட துடிப்பியக் கச் சக்கரத்தின் அலைவு இயக்கம், நவீன காலத்திய வில் கடிகாரங்களில் துல்லியமான அலைவை உறுதிப்படுத்துகிறது. நாள் ஒன்றுக்குப் பத்தாயிரம் தடவைகள் முறுக்கமும் எதிர் முறுக்கமும் செய்கிற ஒரு வில்லிஞல் இது அலைவில் ஈடு படுத்தப்படுகிறது.

ஒரு ஊசிலியில், ஈர்ப்பு விசையின் தொடுகோட்டு ஆக் கக்கூறுதான் மீட்சி விசையின் பங்கினை ஆற்றியது. ஒரு வில்லில் தொங்கிக் கொண்டிருக்கிற பந்தின் உதாரணத்தில், குறுக்கப்பட்ட அல்லது நீட்டப்பட்ட வில்லின் நெகிழ்வு விசையே மீட்சி விசையாக இருக்கிறது. ஆகவே நெகிழ்வு விசையின் எண்மதிப்பானது இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகி தத்திலிருக்கிறது: $F=kx$.

இவ்வுதாரணத்தில், k என்னும் கெழு வேறொரு அர்த் தத்தைக் கொண்டிருக்கிறது. இது, இங்கு வில்லின் விறைப்புத் தன்மையைக் குறிக்கிறது. நீட்டுவதற்கு அல் லது குறுக்குவதற்குக் கடினமாயிருக்கும் வில் ஒன்று, விறைப்பான வில் என அழைக்கப்படுகிறது. k என்னும் கெழு சரியாக இத்தகைய பொருளைக் கொண்டிருக்கிறது. சூத்திரத்திலிருந்தும் கீழ்வருவன தெளிவாகிறது: k என் பது வில்லை ஒரு நீள அலகு நீட்டுவதற்கு அல்லது குறுக்கு வதற்குத் தேவையான விசைக்குச் சமமாக இருக்கிறது.

வில்லின் விறைப்புத் தன்மையையும், அதிலிருந்தும் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிற பளுவின் பொருண்மையையும்

தெரிந்து கொண்டு, $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ என்னும் சூத்திரத்தின் உதவியால் நாம் சுய அலைவு நேரத்தைக் கணக்கிடுகிறோம். உதாரணமாக, 10^5 டைன்/செ.மீ (உண்மையிலேயே இது ஒரு விறைப்பான வில்லாகும்—100 கிராம் எடை இதை 1 செ.மீ நீட்டுகிறது) என்னும் விறைப்புக் கெழுவையுடைய ஒரு வில்லில் தொங்கிக் கொண்டிருக்கிற 10 கிராம் பொருண்மையுடைய ஒரு பளுவானது, $T=6.28\times10^{-2}$ விநாடிகள் என்ற அலைவு நேரத்துடன் அலைவுறும்: ஒரு விநாடியில் 16 அலைவுகள் ஏற்படுகின்றன.

வில் அதிகமாக வளையக் கூடியதாக இருந்தால், அலைவு மிக மெதுவாக நடைபெறுகிறது. பளுவின் பொருண்மையை அதிகரிப்பதினாலேயேயும் இதே விளைவு ஏற்படுகிறது.

வில்லில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிற பந்து ஒன்றுக்கு நாம் இப்பொழுது ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியை உபயோகிப்போம்.

ஒரு ஊசலியின் இயக்க ஆற்றல், நிலையாற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகையாகிய $K+U$ மாறாமலிருக்கிறது என்பதை நாமறிவோம். அதாவது $K+U$ அழிவின்றிக் காக்கப்படுகிறது.

ஒரு ஊசலியின் K மற்றும் Uன் மதிப்புகளை நாமறிவோம். ஆகவே ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி, பின்வருமாறு தெரிவிக்கப்படுகிறது: $\frac{mv^2}{2}+\frac{kx^2}{2}$ என்னும் எண்ணுருக்கோவை அழிவின்றிப் பாதுகாக்கப்படுகிறது. ஆனால் ஒரு வில்லில் தொங்குகிற பந்து ஒன்றின் இயக்கத்துக்கும் இது உண்மையாயிருக்கிறது. நாம் தவிர்க்க முடியாமல் அவசியம் செய்ய வேண்டியிருக்கிற அனுமானம் மிகவும் கவனத்தைக் கவருவதாய் இருக்கிறது.

நாம் முன்னதாக அறிமுகப்படுத்திய நிலையாற்றலிலிருந்து வேறுபட்டிருக்கிற மற்றொரு வகையைச் சார்ந்த ஒரு நிலை

யாற்றலும் இருக்கிறது. முன்னதாகக் கூறப்பட்ட நிலையாற்றல், ஈர்ப்பு நிலையாற்றல் என அழைக்கப்படுகிறது. வில் கிடைமட்டத்தில் தொங்கிக் கொண்டிருந்தால் அலையின் போது ஈர்ப்பு நிலையாற்றல் மாறுவதில்லை. நாம் கண்டுபிடித்த புதிய நிலையாற்றல் நெகிழ்வு நிலையாற்றல் என அழைக்கப்படுகிறது. நம் உதாரணத்தில் இது $\frac{kx^2}{2}$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. அதாவது இது வில்லின் விறைப்புத் தன்மையைப் பொறுத்திருப்பதுடன், நீட்சி மற்றும் குறுக்க அளவுகளின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

அலையின் மொத்த ஆற்றல் மாறிலியாயிருக்கும் பொழுது அதைக் கீழ்வரும் வடிவத்தில் தெரிவிக்கிறோம். $E=\frac{ka^2}{2}$ அல்லது $E=\frac{mv_0^2}{2}$.

இச்சூத்திரங்களில் காணப்படுகிற கணியங்களாகிய a, v_0 ஆகியவை முறையே அலையின் போது ஏற்படுகிற இடப்பெயர்ச்சி, வேகம் ஆகியவற்றின் வீச்சு மதிப்புகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. இச்சூத்திரங்களின் தோற்றம் மிகத் தெளிவாகத் தெரிய வருகிறது. கோடி நிலையில் இருக்கும் பொழுது, அதாவது $x=a$ ஆக இருக்கும் பொழுது அலையின் இயக்க ஆற்றல் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆகவே மொத்த ஆற்றலானது நிலையாற்றலுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. மைய நிலையில் இருக்கும் பொழுது சம நிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சி பூச்சியமாயிருக்கிறது. ஆகவே இந்நிலையில் நிலையாற்றல் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இந்நேரத்தில், வேகம் $v=v_0$ என்னும் பெரும மதிப்பை அடைகிறது. மொத்த ஆற்றல் இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

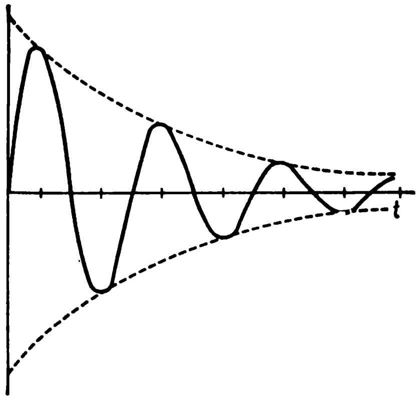
அலைவுகளைப் பற்றிய ஆராய்ச்சி இயற்பியலின் ஒரு பரந்த பிரிவாகும். ஒவ்வொருவரும் அடிக்கடி ஊசிலிகளு

டனும் விற்களுடனும் சம்பந்தப்பட வேண்டியதிருக்கிறது. இவ்விரு பொருட்களும் மட்டும், அலைவுகளைப் பற்றி ஆராயப்பட வேண்டிய பொருட்களின் பட்டியலை முற்றுப் பெறச் செய்ய முடியாது. இயந்திரங்களின் மேல் அமைக்கப்பட்டிருக்கிற இருக்கைகள் அதிர்கின்றன. பாலங்கள், கட்டிடங்களின் பகுதிகள், உத்தரங்கள், அதிக மின்னழுத்தக் கம்பங்கள் இவையாவும் அதிரத் தொடங்குகின்றன. காற்றின் அதிர்வே ஒலியாகும்.

இதுவரை இயந்திரவியல் அலைவுகளின் சில உதாரணங்களை நாம் அட்டவணைப்படுத்தியிருக்கிறோம். ஆயினும் அலையின் கொள்கை, பொருட்கள் அல்லது துகங்கள் சமநிலையிலிருந்து விலக்கப்படுகிற இயந்திர இடப்பெயர்ச்சிகளை மட்டுமே குறிப்பதாக அமையாது. பல மின்னியல் இயற்பாடுகளிலும், நாம் அலைவுகளைப் பார்க்கிறோம். மேலும், நாம் மேலே பரிசீலனை செய்த விதிகளுடன் மிகவும் ஒத்திருக்கிற விதிகளுக்குட்பட்டே இவ்வலைவுகளும் ஏற்படுகின்றன. அலைவுகள் பற்றிய ஆராய்ச்சி இயற்பியலின் எல்லாப் பிரிவுகளிலும் வியாபித்திருக்கிறது.

அதிகச் சிக்கலான அலைவுகள்

நாம் இதுவரையிலும் பார்த்ததெல்லாம் சமநிலைக்கு அருகில் ஏற்படுகிற அலைவுகளைப் பற்றியதே! சமநிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற ஒரு புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிற எண்மதிப்பைக் கொண்ட ஒரு மீட்சி விசையின் செயற்பாட்டின் கீழ் இந்த அலைவு நடைபெறுகிறது. இத்தகைய அலைவுகள் ஒரு சைன் விதியின்படி நிகழ்கின்றன. இவை சீரிசை இயக்கங்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. சீரிசை அலைவுகளின் அலைவு நேரம் வீச்சைப் பொறுத்ததல்ல.



படம் 47

மிக அதிக வீச்சைக் கொண்ட அலைவுகள் அதிகச் சிக்கலானவையாயிருக்கின்றன. இத்தகைய அலைவுகள் சைன் விதிக்குடன்பட்டு நிகழ்வதில்லை. இவற்றின் காட்சியமைவு, பலதரப்பட்ட அலைவுத் தொகுதிகளுக்கும், வித்தியாசமாயிருக்கிற சிக்கலான வளைகோடுகளைத் தருகின்றன. அலைவு நேரமானது அலைவின் தனிச்சிறப்பான பண்பாக நீடிப்பதில்லை. அலைவு நேரம் வீச்சைப் பொறுத்திருக்கிறது.

உராய்வு, எல்லா அலைவுகளையும் குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்கு மாற்றி விடுகிறது. உராய்வு இருந்தால், அலைவுகள் படிப்படியாக அழிந்து விடுகின்றன. உராய்வு அதிகமானுல், வீச்சுக் குறைப்பும் வேகமாக ஏற்படுகிறது. நீரினுள் அமிழ்த்தி வைக்கப்பட்டிருக்கிற ஒரு ஊசலியை அலைவுறச் செய்ய முயற்சிக்கவும். ஊசலி ஒரு அல்லது இரு அலைவுகளுக்கு மேற்பட்ட அலைவுகளைச் செய்யுமாறு முயற்சிப்பதில் நாம் வெற்றி காண்பது மிக அரிது. ஒரு ஊசலி அதிகப் பாய்நிலையையுடைய ஒரு ஊடகத்தினுள் மூழ்கியிருந்தால், ஊசலி அலைவு இயக்கத்தையே மேற்கொள்வதில்லை. விலக்கப்பட்ட ஊசலி

அலைவுகளை மேற்கொள்ளாமல் அதன் சமநிலைக்குத் திரும்புகிறது. வீச்சுக் குறைப்பு அலைவுக்கான எடுத்துக் காட்டு வரைபடம் ஒன்று படம் 47ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. சம நிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற விலக்கம் நிலைக்குத்து அச்சின் மீதும், நேரம் இடையச்சின் மீதும் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வீச்சுக் குறைப்பு அலைவு ஒன்றின் வீச்சு ஒவ்வொரு அலைவின் போதும் குறைகிறது.

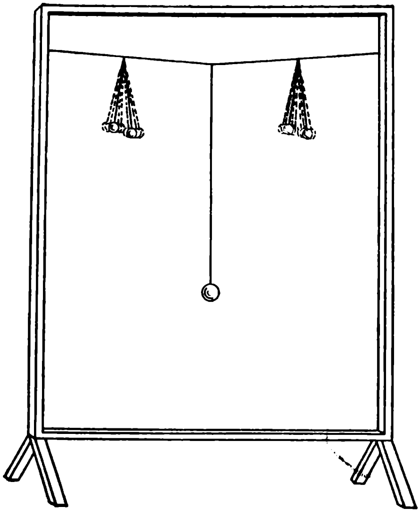
ஒத்திசைவு (resonance)

ஒரு குழந்தை ஊஞ்சல் ஒன்றின் மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அவன் பாதம் தரையைத் தொடுவதில்லை. இவ்வூஞ்சலை ஆட்ட வேண்டுமாயின், நாம் அந்த ஊஞ்சலை உயரத்தில் இழுத்துப் பின்னர் போகும்படி விட்டுவிட வேண்டும். இது சிறிது கடிமையானதும் அதே நேரத்தில் அவசியமில்லாத ஒன்றும் ஆகும். அலைவுகளுக்கு உகந்த நேரத்தில் ஊஞ்சலை மெதுவாகத் தள்ளினாலே போதுமானதாயிருக்கிறது. சிறிது நேரத்தில் குழந்தை வேகமாக ஊஞ்சலில் ஆடிக் கொண்டிருக்கும்.

ஒரு பொருளை ஊசலாட்ட வேண்டுமானால், அலைவுகளுக்கு உகந்த நேரத்தில் நாம் செயல்பட வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. இன்னொரு விதமாகக் கூறினால், பொருளின் அலைவுகளின் அலைவு நேரத்துக்குச் சமமான அலைவு நேரத்துடன் நாம் அதைத் தள்ள வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. இத்தகைய சூழ்நிலைகளில் நாம் ஒத்திசைவைப் பற்றிப் பேசுகிறோம்.

இயற்கையிலும் தொழில் நுணுக்கத் துறைகளிலும் பரவலாக நடைபெறுகிற ஒத்திசைவின் இயற்பாட்டை மிகக் கவனமாக பரிசீலனைக்கு உட்படுத்த வேண்டிருக்கிறது.

கீழ்வரும் உபகரணத்தை நாம் அமைத்தால், மிகவும்



படம் 48

ஆச்சரியம் தருகிற, தனித்தன்மை வாய்ந்த ஒத்திசைவு ஒன்றை நாம் பார்க்கலாம். ஒரு கயிற்றைக் கிடைமட்டத்திலிருக்கும்படியாக இழுத்துக் கட்டி, அதினின்றும் மூன்று ஊசிலிகளைத் தொங்கவிடவும் (படம் 48). இவற்றுள் சம நீளமுடைய, இரு குட்டை ஊசிலிகளும் நீள ஊசிலி ஒன்றும் இருக்கின்றன. குட்டையான ஊசிலிகளுள் ஒன்றை இழுத்துப் பின் விட்டுவிடவும். சம நீளமுள்ள மற்றொரு ஊசிலியும் எவ்வாறு படிப்படியாக அலைவுற ஆரம்பிக்கிறது என்பதை சில விஞடிகளுக்குப் பின்னர் நாம் பார்க்கலாம். இன்னும் சில விஞடிகளில், இரு ஊசிலிகளுள் எந்த ஒன்று முதலில் அலைவுற ஆரம்பித்தது என்று சொல்ல முடியாத அளவுக்கு இரண்டாவது குட்டை ஊசிலி ஊசலாடுகிறது.

இதற்கான காரணம் என்னவாயிருக்கும்? சம நீளமுள்ள ஊசிலிகள் சம, சுய அலைவு நேரத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன. முதல் ஊசிலி இரண்டாவதை ஊசலாட்டுகிறது. இரு

ஊசிலிகளேயும் இணைத்திருக்கிற கயிற்றின் மூலமாக, அலேவுகள் ஒரு ஊசிலியிலிருந்து மற்றென்றுக்கு கடத்தப்பட்டிருக்கின்றன. உண்மைதான். ஆனல், வித்தியாசமான நீளமுடைய இன்னெரு ஊசிலியும் கயிற்றில் தொங்கிக் கொண்டிருக்கிறது. இந்த ஊசிலிக்கு என்ன நிகழ்கிறது? இதற்கு ஒன்றுமே ஏற்படுவதில்லே. இந்த ஊசிலியின் அலேவு நேரம் வித்தியாசமாயிருக்கிறது. குட்டையான ஊசிலி இதனே ஊசலாடச் செய்ய இயலாது. ஒரு ஊசிலியிலிருந்து மற்றென்றுக்குக் கவனத்தை ஈர்க்கும் வகையில் ஆற்றல் பாயும்பொழுது, இதில் கலந்து கொள்ளாத மூன்ருவது ஊசிலி ஒன்றும் இருக்கிறது.

நாம் ஒவ்வொருவரும், இயந்திரவியல் ஒத்திசைவு இயற்பாட்டை அடிக்கடிக் காணக் கூடும். ஒத்திசைவு சில நேரங்களில் பாதிப்புத் தன்மை உடையதாயிருந்தாலுங்கூட சாதாரணமாக நாம் அவற்றைக் கவனிக்காமல் விட்டுவிடுகிருேம்.

தெருவில் செல்லும் மோட்டார் வண்டி வீட்டுப் பலகணியைக் கடந்து செல்லும் பொழுது பக்கவாட்டில் பலகையின் மீதுள்ள உணவுத் தட்டுகள் குதிக்க ஆரம்பிக்கின்றன. இதற்கான காரணம் என்ன? தரையின் அதிர்வுகள், கட்டிடத்துக்குக் கடத்தப்படுகிறது. அதே நேரத்தில் நம் அறையின் தரைக்கும் கடத்தப்படுகிறது. ஆகவேதான் பக்கவாட்டுப் பலகையும் அதன் மீதுள்ள ஆகாரத்தட்டுகளும் அதிர ஆரம்பிக்கின்றன. அதிர்வுகள் பல்வேறு பொருட்களின் மூலமாக வெகுதூரத்துக்குப் பரப்பப்படுகின்றன. ஒத்திசைவின் விளேவாகவே இது நிகழ்ந்திருக்கிறது. வெளிப்புற அலேவுகள் பொருட்களின் இயல்பான அலேவுகளுடன் ஒத்திசைவு கொண்டிருக்கின்றன. ஒரு அறையில் அல்லது ஒரு தொழிற்சாலேயில் அல்லது ஒரு காரில் நாம் கேட்கிற கடகடவெனும் எந்த சப்தமும் ஒத்திசைவினலேயே ஏற்படுகிறது.

ஒத்திசைவின் இயற்பாடு, மற்ற இயற்பாடுகளைப் போலவே பயன்படக்கூடியதாகவும் அதே சமயத்தில் தீமை பயக்கக்கூடியதாகவும் இருக்கக் கூடும்.

இயந்திர இருக்கையின் மீது இயந்திரம் ஒன்று அமர்ந்திருக்கிறது. இதன் இயங்குகிற பாகங்கள், ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நேரத்துடன் கூடிய சந்தத்துடன் இயங்குகின்றன. இந்த அலைவு நேரம், இயந்திர இருக்கையின் சுய அலைவு நேரத்துடன் ஒன்றியிருப்பதாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளவும். இப்பொழுது என்ன நிகழும்? வெகு விரைவில், இயந்திர இருக்கை ஊசலாட ஆரம்பித்து, எல்லாமே ஒரு மோசமான நிலையை அடைகிறது.

கீழ்வரும் உண்மை நாமறிந்த ஒன்றே! தூய பீர்டர்ஸ் பர்க்கில் உள்ள ஒரு பாலத்தின் மேல் வீரர்களின் கூட்டம் அணிவகுத்துச் சென்று கொண்டிருந்தது. பாலம் உடைந்து விட்டது. இந்நிகழ்ச்சியின் பேரில் ஒரு விசாரணை ஆரம்பித்தது. பாலத்தின் நிலைமையைப் பற்றியோ அல்லது அதைக் கடந்து செல்லும் மக்களின் விதியைப் பற்றியோ கவலை கொள்வதற்குக் காரணம் எதுவும் இருந்ததாகத் தோன்றவில்லை. ஏனெனில் பல தடவைகள் பெரிய அளவிலான மக்கள் கூட்டங்கள் இப்பாலத்தின் மேல் கூடியிருக்கின்றன. ஒரு வீரர் குழாமைவிட அதிக எடையுடைய கன வாகனங்கள், பலமுறை மிக மெதுவாகக் கடந்து சென்றிருக்கின்றன.

ஆனுல் ஒரு கனமான எடையின் செயற்பாட்டினுல், பாலம் குறிக்கப்பட முடியாத அளவுக்கு சிறிதே தொய்வு கொடுக்கிறது. பாலம் ஊசலாடும் பொழுது, ஒப்பிட முடியாத அளக்கு அதிகமான தொய்வு ஏற்படுகிறது. அலையின் ஒத்திசைவு வீச்சானது அதே எடையுள்ள நிலையான பளு ஒன்றினுல் ஏற்படக்கூடிய இடப்பெயர்ச்சியைக் காட்டிலும் 1000 மடங்கு அதிகமானதாக இருக்க முடிகிறது.

விசாரணை சரியாகக் கீழ்வருவனவற்றை நிரூபித்தது. பாலத்தின் சுய அலைவு நேரமானது சாதாரணமாக அணி வகுத்துச் செல்லும் பொழுது காலடி எடுத்து வைக்கும் அலைவு நேரத்துடன் ஒன்றியிருந்தது.

ஆகவே ஒரு சிறு வீரர் குழு பாலத்தைக் கடக்கும் பொழுது கிரமமாக அடி வைத்து நடப்பதை நிறுத்துவதற்கான ஆணை பிறப்பிக்கப்படுகிறது. வீரர்களின் அசைவுகள் ஒத்திசைவிக்கப்படாவிட்டால், ஒத்திசைவு இயற்பாடு உண்டாவதில்லை. பாலங்களும் ஊசலாடுவதில்லை. பொறியியலாளர்கள் இப்பெரு விபத்தை ஞாபகத்தில் வைத்திருக்கின்றனர். பாலங்களின் அமைப்பு பற்றித் திட்டமிடும் போது, அதன் சுய அலைவு நேரம், கிரமமாக அடியெடுத்து வைக்கும் நேரத்திலிருந்தும் மிகவும் மாறுபட்டிருப்பதற்காக முயற்சி செய்கின்றனர்.

இயந்திர இருக்கை அமைப்பவர்களுக்கும் இத்தகைய சிக்கல்கள் ஏற்படுகின்றன. இதன் அலைவு நேரம் இயந்திரத்தின் இயங்கும் பாகங்களின் அலைவு நேரத்திலிருந்தும் கூடிய மட்டும் வேறுபட்டிருக்கும்படியாக, இயந்திர இருக்கைகளை அமைக்க முயற்சிக்கிர்கள்.

ஆறு

திடப்பொருள்களின் இயக்கம்

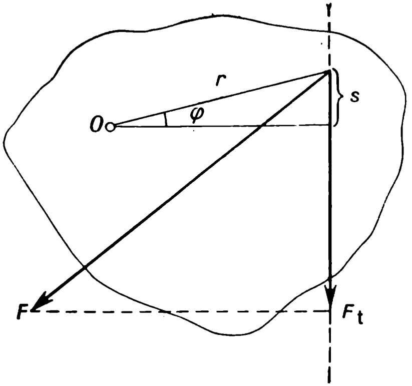
திருக்கை

கையால் சுற்றக் கூடிய கனச் சுழலி (fly wheel) ஒன்றை எடுத்துக் கொள்ளவும். அதன் ஆரைக் கால்களில் (spokes) ஒன்றைப் பற்றி இழுக்கவும். அச்சுக்கு அருகாமையில் பற்றி இழுக்கும் பொழுது கடினமாகத் தோன்றுகிறது. கையை விளிம்பை நோக்கி நகர்த்தினல், இவ்வேலை எளிதாகத் தோன்றுகிறது.

இவ்விரு செயல்களுக்கிடையேயான வித்தியாசம் என்ன? உண்மையில் இவ்விரு நிகழ்ச்சிகளிலும் செயல்படும் விசை ஒன்றுகவே இருக்கிறது. விசையின் செயற்படு புள்ளிதான் வேறுபட்டிருக்கிறது.

முந்திய அத்தியாயங்களில், விசை எந்தப் புள்ளியில் செயல்படுகிறது என்ற வினவே எழவில்லை. ஏனெனில் நாம் பரிசீலித்த பிணக்குகளில் பொருளின் வடிவமோ அல்லது பரிமாணமோ எந்தவிதப் பங்கும் எடுத்துக் கொள்ளவில்லை. நாம் இதுவரையிலும், கொள்கைப்படி ஒரு பொருளை ஒரு புள்ளியால் மாற்றீடு செய்தோம்.

பொருளின் சுழற்சி அல்லது சுற்று இயக்கத்தைப் பற்றி விவாதிக்கும் பொழுது விசையின் செயற்படு புள்ளியைப் பற்றிய கேள்வி மிகவும் முக்கியமானதாயிருக்கிறது என்ப



படம் 49

தைச் சுழல் சக்கரத்தைக் கொண்ட உதாரணம் காட்டுகிறது.

விசை செயற்படும் புள்ளியின் முக்கியத்துவத்தைத் தெரிந்து கொள்வதற்காக ஒரு பொருளை ஒரு குறிப்பிட்ட கோண அளவு சுற்றுவதற்கு ஆற்ற வேண்டிய வேலையை நாம் கணக்கிடுவோம். உண்மையில், பொருளின் துகள்கள் யாவும் ஒன்றோடொன்று திண்ணமாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன என இக்கணக்கீட்டில் நாம் தற்கோள் கொள்வோம் (ஒரு பொருளின் வளையும் தன்மை, சுருங்கும் தன்மை அல்லது பொதுவாக அதன் வடிவத்தை மாற்றும் தன்மையை நாம் இங்கு கவனியாமல் விட்டுவிடுகிறோம்). ஆகவே பொருளின் ஒரு புள்ளியில் செயற்படும் விசை, அதன் எல்லாப் பாகங்களுக்கும் இயக்க ஆற்றலைக் கொடுக்கிறது. இதற்குத் தேவையான வேலையைக் கணக்கிடுகையில் விசை செயற்படும் புள்ளியின் முக்கியத்துவம் தெளிவாகத் தெரிய வருகிறது.

அச்சுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிற பொருள் ஒன்று படம் 49ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. பொருள் φ என்னும் சிறிய

கோண அளவு திரும்பும் பொழுது விசைசெயற்படும் புள்ளி ஒரு வில்லின் மேல் நகர்கிறது. அதாவது, அப்புள்ளி s தூரம் இடப்பெயர்ச்சி அடைந்துள்ளது.

இயக்கத் திசையில், அதாவது விசை செயற்படும் புள்ளி சுற்றி வருகிற வட்டத்தின் தொடுகோட்டின் மேல் விசையின் எறிதலைக் கணக்கிட்டு வேலைக்குரிய பழக்கமான சூத்திரத்தை நாம் தருவிக்கிறோம்:

$$A=F_t s$$

ஆனால் இவ்வில்லானது கீழ்வருமாறு குறிக்கப்படலாம்.

$$s=r\varphi,$$

இங்கு r என்பது சுழலச்சிலிருந்து விசை செயற்படும் புள்ளி அமைந்துள்ள தூரமாகும். ஆகவே

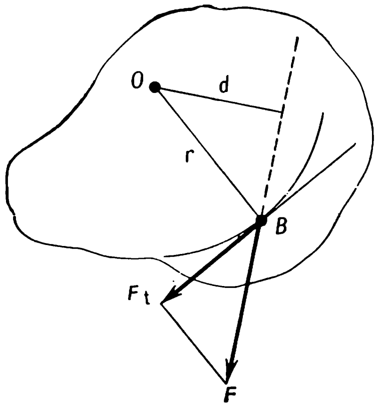
$$A=F_t r\varphi.$$

பல வழிகளில் ஒரு பொருளை ஒரே கோண அளவு சுற்றும் பொழுது விசை செயற்படும் புள்ளியைப் பொறுத்து நாம் வித்தியாசமான அளவு வேலையை ஆற்ற வேண்டியிருக்கிறது.

கோணம் குறிப்பிட்டிருக்கும் பொழுது, வேலை $F_t r$ என்னும் பெருக்கற்பலனால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. இப்பெருக்கற்பலனே விசையின் திருப்புத்திறன் அல்லது திருக்கை என அழைக்கப்படுகிறது:

$$M=F_t r.$$

திருக்கையின் இச்சூத்திரத்துக்கு மற்றொரு வடிவமும் கொடுக்கலாம். 0 என்பது சுழலச்சாகவும், B என்பது விசை செயற்பாடும் புள்ளியாகவும் இருக்கட்டும் (படம் 50). 0—விலிருந்து விசையின் திசைக்கு வகைப்பட்ட செங்குத்துக் கோட்டின் நீளம் d எனக் குறிக்கப்படுகிறது. படத்தில்



படம் 50

அமைக்கப்பட்டிருக்கும் இரு முக்கோணங்களும் வடிவொத்தவை ஆகும். ஆகவே

$$\frac{F}{F_t}=\frac{r}{d} \text{ அல்லது } F_t r=Fd$$

d என்னும் கணியம் விசையின் கரம் அல்லது நெம்புகோல் கரம் என அழைக்கப்படுகிறது.

$M=Fd$ என்னும் நமது புதிய சூத்திரம் கீழ்வருமாறு விவரிக்கப்படுகிறது. திருக்கையானது விசை, அதன் நெம்புகோல் கரம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

விசை செயற்படும் புள்ளியை விசையின் திசையிலேயே நாம் இடப்பெயர்ச்சி செய்தால், நெம்புகோல் கரமாகிய d—ம், அத்துடன் திருக்கையும் மாறுவதில்லை. எனவே விசை செயற்படும் புள்ளி விசைச் செயற்கோட்டின் மீது எங்கு 4 அமைந்திருந்தாலும், எவ்வித வித்தியாசமும் ஏற்படுவதிதில்லை.

இப்புதிய கொள்கையின் உதவியுடன் வேலைக்கான சூத்திரத்தை இன்னும் சுருக்கமாக எழுதலாம்:

$$A = M \cdot \varphi$$

அதாவது வேலையானது திருக்கை, சுழல் கோணம் அகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்கு சமமாயிருக்கிறது.

M_1, M_2 என்னும் திருப்புத்திறன்களைக் கொண்ட இரு விசைகள் ஒரு பொருளின் மீது செயல்படுவதாக எடுத்துக் கொள்வோம். பொருள் என்னும் கோண அளவு சுற்றப்படும் பொழுது ஆற்றப்பட்ட வேலை $M_1\varphi + M_2\varphi = (M_1 + M_2)\,\varphi$ க்குச் சமமாயிருக்கும். $(M_1 + M_2)$க்குச் சமமான M என்னும் திருப்புத்திறனையுடைய ஒரு விசை பொருளைத் தனித்துச் சுற்றுவது போன்றே, M_1, M_2 ஆகிய திருப்புத்திறன்களையுடைய இரு விசைகளும் சேர்ந்து பொருளைச் சுற்றுகின்றன என்பதை இச்சமன்பாடு நிரூபிக்கிறது. விசைகளின் திருப்புத்திறன்கள் ஒன்றுக்கொன்று உதவியாகவும் இருக்கலாம் அல்லது தடையாகவும் அமையலாம். M_1, M_2 என்னும் திருப்புத்திறன்கள் ஒரு பொருளை ஒரே திசையில் சுற்ற முயற்சித்தால், அவை ஒரே குறியீட்டைக் கொண்ட எண்மதிப்புகளை உடையவை என நாம் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். இதற்கு மாறுக ஒரு பொருளை எதிரெதிர்த்திசைகளில் சுற்றுகிற திருக்கைகள் எதிர்க் குறியீடுகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. ஒரு பொருளில் செயற்படும் எல்லா விசைகளும் ஆற்றுகிற வேலைகள் அப்பொருளின் இயக்க ஆற்றலில் மாறுதலை ஏற்படுத்துகிறது என்பது நாமனைவரும் அறிந்ததே!

பொருளின் சுழல் வேகம் அதிகரிக்கப்படுகிறது அல்லது குறைக்கப்படுகிறது; ஆகவே அதன் இயக்க ஆற்றலும் மாறுகிறது. திருக்கைகளின் தொகுபயன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயில்லாதிருக்கும் பொழுது மட்டுமே இவ்வாறு நிகழ்கிறது.

ஆனால் திருக்கைகளின் தொகுபயன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் பொழுது என்ன நிகழ்கிறது? இக்கேள்வியின் பதில் நாமனைவரும் அறிந்திருக்கிற ஒன்றே! பொருளின் இயக்க ஆற்றல் மாறுவதில்லை. இதன் விளைவாக, சடத்துவத்தினால் பொருள் சீராகச் சுற்றுகிறது அல்லது ஓய்வு நிலையில் இருக்கிடது.

இவ்வாறு, சுழலும் தன்மையுடைய ஒரு பொருள் சமநிலையில் இருக்க வேண்டுமானால், அப்பொருளின் மேல் செயற்படும் எல்லா திருக்கைகளும் சரியீடு செய்யப்பட வேண்டியது அவசியமாகிறது. இத்தகைய திருக்கைகள் இரண்டு மட்டும் செயல்படும் பொழுது, சம நிலைக்கான நிபந்தனை கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது:

$$M_1 + M_2 = 0$$

ஒரு பொருளை ஒரு புள்ளியாகக் கருதும் பிணக்குகளில் நாம் கவனம் செலுத்தும் பொழுது, சமநிலையின் நிபந்தனைகள் எளிதாயிருந்தன. இப்பிணக்குகளில் ஒரு பொருள் ஓய்வு நிலையில் இருப்பதற்கு அல்லது சீராக இயங்குவதற்குத் தேவையான நிபந்தனையை நியூட்டனின் விதி அறிவிக்கிறது. பொருளின் மீது செயல்படும் விசைகளின் தொகுபயன் பூச்சியமாக இருக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. அதாவது மேல் நோக்கிச் செயல்படும் விசைகள், கீழ் நோக்கிய விசைகளைச் சரியீடு செய்தல் வேண்டும். வலப்புற விசைகள், இடப்புற விசைகளைச் சரியீடு செய்ய வேண்டும்.

மேற்கூறிய சூழ்நிலைக்கும் இவ்விதி பொருந்துகிறது. ஒரு கனச் சுழலி ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் பொழுது, அதன் மீது செயல்படும் விசைகள் யாவும், சக்கரத்தினுடைய சுழலச்சின் எதிர் வினையால் சரியீடு செய்தல் வேண்டும்.

ஆனால் இந்த அவசியமான நிபந்தனைகள் போதுமானவைகளாக இல்லை. விசைகள் சரியீடு செய்யப்படுவதுடன்

திருக்கைகளும் சரியீடு செய்யப்படுதல் அவசியமாயிருக்கிறது. ஒரு திடப்பொருள் ஒய்வு நிலையில் இருப்பதற்கு அல்லது சீராகச் சுழல்வதற்கு, விசைகளின் திருப்புத் திறன்கள் சரியீடு செய்யப்படுதல் வேண்டும் என்பது இரண்டாவது அவசியமான நிபந்தனையாயிருக்கிறது.

திருக்கைகள், பல இருப்பின், அவற்றை இரு தொகுதிகளாகப் பிரிக்களாம்: சில திருக்கைகள் பொருளை வலஞ்சுழியாகச் சுற்ற முயற்சிக்கின்றன. ஏனையவை இடஞ்சுழியாகச் சுற்ற முயற்சிக்கின்றன. விசைகளின் இவ்விரு தொகுதிகளும், ஒன்றுக்கொன்று சரியாக ஈடு செய்யப்பட வேண்டியதிருக்கிறது.

நெம்புகோல்

ஒரு மனிதன் 100 டன் எடையைக் கீழே விழாமல் தாங்கிக் கொள்ள முடியுமா? ஒருவர் ஒரு இரும்புத் துண்டு கையாலேயே பொடியாக்க இயலுமா? ஒரு குழந்தை ஒரு பலசாலியைச் சமாளிக்க முடியுமா? ஆம். இவையாவும் சாத்தியமானவையே!

ஒரு கனச் சுழலியின் ஆரைக்கால் ஒன்றை அச்சுக்கு அருகில் பற்றிக் கொண்டு அதை வலஞ்சுழியாகச் சுற்றுமாறு ஒரு பலமுள்ள மனிதனைக் கேட்டுக் கொள்ளவும். இச்சூழ்நிலையில் திருக்கை சிறியதாய் இருக்கும். செயற்படும் விசை அதிகமானது. ஆனல் நெம்புகோல் கரம் குட்டையாயிருக்கிறது. ஒரு குழந்தை ஆரைக்கால் ஒன்றை சக்கரத்தின் விளிம்புக்கு அருகில் பற்றிக் கொண்டு சக்கரத்தை எதிர்த்திசையில் இழுத்தால், ஏற்படும் திருக்கை மிகவும் அதிகமாயிருக்கிறது. செயற்படும் விசை சிறிதாயிருக்கிறது. ஆனல் நெம்புகோல் கரம் நீளமாயிருக்கிறது. $M_1 = M_2$ அல்லது $F_1 d_1 = F_2 d_2$ என்பதே சமநிலைக்கான நிபந்தனையாகும்.

திருப்புத் திறன்களின் விதியை உபயோகித்து, ஒரு மனிதன் விசித்திரமான பலத்தைப் பெற முடிகிறது. நெம்பு கோல்களின் செயற்பாடு இதனை விளக்குகிற மிகப் பொருத்தமான உதாரணமாக அமைகிறது.

ஒரு கடப்பாரைக் கம்பியின் உதவியால் மிகப்பெரிய கல் ஒன்றைத் தூக்க விரும்புகிறோம். இக்கல் பல டன் எடையைக் கொண்டிருந்தாலும், இது நம்மால் செய்து முடிக்கக்கூடிய ஒரு வேலையாகும். கடப்பாரை ஒரு சுழல் தானத்தின் மீது வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இக்கடப்பாரையே நமது பிணக்கில் திடப்பொருளாக அமைகிறது. சுழல் தானமே சுழற்சி மையமாகும். கல்லின் எடையிலிருந்து தோன்றுகிற, சுழற்சியைத் தடை செய்யும் திருக்கை, நமது கையிலிருந்து தோன்றுகிற, சுழற்சிக்கு உதவியாய் அமையும் திருக்கை ஆகிய இரு திருக்கைகள் பொருளின் மீது செயல்படுகின்றன. 1,2 என்னும் அடிக்குறிகள் (subscripts) முறையே தசை விசையையும் பொருளின் எடையையும் குறிப்பனவாக அமைந்தால், கல்லைத் தூக்குவதற்கான சாத்தியக்கூற்றைக் கீழ்வருமாறு சுருக்கமாக அறிவிக்கலாம். M_2 ஐக் காட்டிலும் M_1 பெரியதாக இருக்க வேண்டும்.

$M_1 = M_2$ அல்லது $F_1 d_1 = F_2 d_2$ ஆக இருந்தால்தான் கல்லைப் பூமிக்கு மேல் தாங்கி நிறுத்த முடியும்.

சுழல் தானத்திலிருந்து கல் வரையும் அமைந்துள்ள தூரமாகிய நெம்புகோலின் குட்டைக் கரமானது, சுழல் தானத்திலிருந்து கை வரைக்கும் ஆன தூரமாகிய நெட்டைக் கரத்தை விட 15 மடங்குகள் சிறியதாக இருந்தால் நெம்புகோலின் நீண்ட கரத்தின் மீது தன் எடை முழுவதையும் செயல்படுத்தும் ஒரு மனிதன் ஒரு டன் எடையைத் தூக்கிய நிலையில் தாங்கிக் கொள்ள இயலும்.

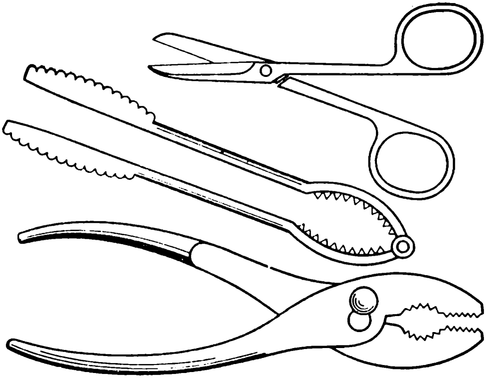
சுழல் தானத்தின் மீது வைக்கப்பட்டிருக்கிற ஒரு கடப்பாரைக் கம்பி அனைவரும் அறிந்திருக்கும் நெம்புகோலின்

ஒரு எளிய உதாரணமாகும். கடப்பாரையின் உதவியால், விசையில் சாதாரணமாக 10—லிருந்து 20 மடங்கு இலாபம் பெறப்படுகிறது. கடப்பாரைக் கம்பி கிட்டத்தட்ட 1.5மீ நீளமுடையதாயிருக்கிறது. ஆனால் வழக்கமாக, அதன் அடிப்பாகத்திலிருந்து 10 செ.மீக்கும் அருகில் சுழல் தானத்தை வைப்பது கடினமாயிருக்கிறது. ஆகவே நெம்பு கோலின் கரங்களில் ஒன்று மற்றதைக் காட்டிலும் 15—20 மடங்கு நீளமாயிருக்கிறது. ஆகவே இதுவே விசையின் இலாபகமாகவும் இருக்கிறது.

பாரந்தூக்கும் கருவி (jack) ஒன்றின் உதவியால், உந்து வண்டி ஓட்டுநர் ஒருவர் பல டன் எடையுள்ள ஒரு உந்து வண்டியை எளிதாகத் தூக்குவார். பாரந்தூக்கும் கருவியானது, சுழல் மையத்தின் மீது வைக்கப்பட்ட கடப்பாரைக் கம்பியின் வகையைச் சேர்ந்த ஒரு நெம்புகோலாகும். விசைகள் (கை, உந்து வண்டியின் எடை) செயற்படும் புள்ளிகள் பாரந்தூக்கும் கருவியின் சுழல் தானத்திற்கு எதிரெதிர்ப் பக்கங்களில் அமைந்திருக்கின்றன. இதில் விசையின் இலாபம் 40—50 மடங்குகளாக இருப்பதால், மிக அதிகமான எடையை எளிதாகத் தூக்க முடிகிறது.

கத்தரிக்கோல்கள், பாக்கு உடைப்பான்கள், குறடுகள், இடுக்கிகள், சாமணங்கள் மற்றும் இது போன்ற இன்னும் பல உபகரணங்களும் நெம்புகோல்களேயாகும். திடப்பொருட்களின் சுழல்தானங்களையும், துணையாயிருக்கிற விசை, தடையாயிருக்கிற விசை ஆகிய இரு விசைகள் செயற்படும் புள்ளிகளையும் (படம் 51) நாம் எளிதாகப் பார்க்க முடிகிறது.

கத்தரிக்கோலின் உதவியால் தகரத் தகடு ஒன்றை வெட்டத் தொடங்கும் பொழுது, அக்கத்தரிக் கோலைக் கூடிய மட்டும் அகலமாகத் திறக்கிறோம். இதனால் நமக்குக் கிடைப்பது என்ன? உலோகத் தகட்டை சுழல் மையத்துக்கு அருகில்



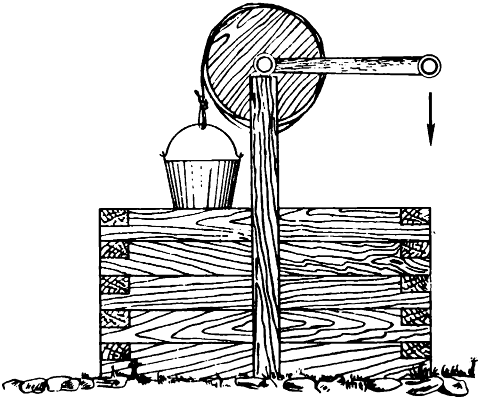
படம் 51

தள்ளும் முயற்சியில் நாம் வெற்றியடைகிறோம். நாம் சமாளிக்க வேண்டிய திருக்கையின் நெம்புகோல் கரம் குட்டையாக்கப்படுவதால், விசையின் இலாபம் அதிகரிக்கிறது. கத்தரிக்கோலை உபயோகிக்கும் பொழுது வாலிபர் ஒருவர் சாதாரணமாக 40—50 கி.கி.வியைச் செயல்படுத்துகிறார். நெம்புகோல் கரங்களில் ஒன்று மற்றதைக் காட்டிலும் 20 மடங்கு நீளமானதாயிருக்கிறது. 1 டன் விசையின் செயற்பாட்டினால் நாம் உலோகத்தை வெட்டி உட்செல்ல முடியும் எனத் தோன்றுகிறது. இச்செயல் இத்தகைய எளிய சாதனங்களால் சாத்தியமாகிறது.

சுழல் சக்கரம் மூலம் பாரந்தூக்கும் இயந்திரம் நெம்புகோலின் ஒரு வகையேயாகும். பல கிராமங்களில், சுழல் சக்கரம் மூலம் பாரந்தூக்கும் இயந்திரத்தின் உதவியால் கிணற்றிலிருந்து நீர் இறைக்கப்படுகிறது (படம் 52).

பாதையின் இழப்பு

அறிவியல் கருவிகள் மனிதனைப் பலசாலியாக்குகின்றன. இதிலிருந்தும், சிறிய வேலைகளின் செலவில் மிகப் பெரிய



படம் 52

வேலைகளைச் செய்வதற்கு இக்கருவிகள் மனிதனுக்கு உதவியாயிருக்கின்றன என நாம் கூற முடியாது. வேலையில் லாபம் அதாவது ''ஒன்றும் இல்லாமையே'' வேலையைச் செய்ய வைப்பது என்பது முடியாத ஒன்ருகும் என்பதை ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி நம்மை நம்பச் செய்கிறது.

கிடைக்கப்பெற்ற வேலையானது செய்யப்பட்ட வேலையைக் காட்டிலும் கூடுதலாக இருக்க முடியாது. இதற்கு மாருக, உராய்வினுல் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்புதான், உபகரணம் செய்கின்ற வேலையானது, உபகரணத்தின் மீது செய்யப்பட்ட வேலையைக் காட்டிலும் குறைவாக இருப்பதற்குக் காரணமாயிருக்கிறது. நல்லியல்பான (ideal) சூழ்நிலையில் இவ்விரு வேலைகளும் சமமாயிருக்கின்றன.

சரியாகக் கூறினுல், அனைவரும் அறிந்த இந்த உண்மையை விவரிப்பதில் நாம் நேரத்தை வீணடித்துக் கொண்டிருக்கிருேம். ஏனெனில், செயல்படுகிற விசை, மற்றும் சரியீடு செய்யப்படுகிற விசை ஆகியவற்றின் சமன்பாட்டின் நிபந்தனையிலிருந்துதான் திருக்கைகளின் விதி தருவிக்கப்பட்டது.

விசைகள் செயற்படும் புள்ளிகள் s_1, s_2 என்னும் தூரங்கள் நகர்ந்தால், வேலையின் சமன்பாட்டு நிபந்தனை கீழ் வரும் வடிவத்தைப் பெறுகிறது:

$$F_1^t s_1 = F_2^t s_2.$$

நெம்புகோலின் உதவியுடன் s_2 நீளமுடைய பாதையின் மீது F_2 என்னும் விசையைச் சமாளிப்பதற்கு F_2—ஐக் காட்டிலும் குறைந்த அளவுடைய F_1 என்னும் விசையே போதுமானதாகும். ஆனால் F_2—ஐக் காட்டிலும் தசை விசையாகிய F_1 எத்தனை மடங்கு சிறியதாக இருக்கிறதோ அத்தனை மடங்குகள் நம் கையின் இடப்பெயர்ச்சியாகிய s_1, s_2—ஐக் காட்டிலும் பெரியதாக இருக்க வேண்டியிருக்கிறது.

இவ்விதி பின்வரும் சுருக்கமான வாசகத்தால் அறிவிக்கப்படுகிறது. விசையின் லாபம் பாதையின் இழப்புக்குச் சமமாயிருக்கிறது,

பழங்காலத்திய மிகச் சிறந்த அறிவியல் அறிஞராகிய ஆர்க்கிமிடீஸ்தான் நெம்புகோலின் விதியைக் கண்டு பிடித்தார். பழங்காலத்திய சிறந்த அறிவியல் அறிஞராகிய இவர், இவருடைய நிரூபணத்தின் ஆதாரத்தைக் கண்டு ஆச்சரியமடைந்து, சிராகுசின் இரண்டாவது அரசராகிய இரண்டாவது கீரோவுக்கு கீழ்வருமாறு கடிதம் எழுதினர். ''இன்னொரு உலகம் ஒன்று இருந்து, அங்கு நான் செல்ல முடியுமேயானால், நான் இவ்வுலகை அசைத்து விடுவேன்.'' பூமிக்கு அருகில் அமைந்திருக்கிற சுழல்தானத்தைக் கொண்ட நீளமான-நம்புகோல் த்தனைகய றாபிணக்குக் கொண்ட நீளமான நெம்புகோல் இத்தகைய பிணக்குக் குத் தீர்வு காண வகை செய்கிறது.

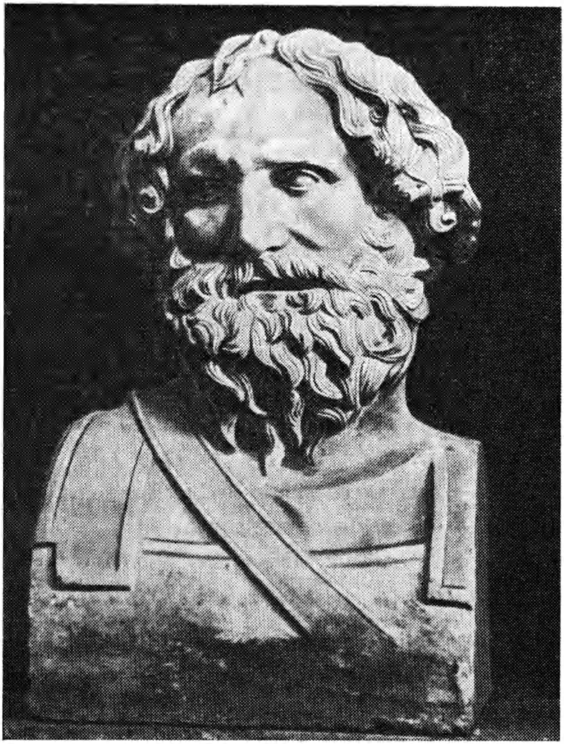
தாங்கு புள்ளி இல்லாமையே, பூமியை நகர்த்த முடியாததற்குக் காரணமாகும் எனக் கருதிய ஆர்க்கிமிடீஸைக்

கண்டு நாம் கோபமடையவில்லை. நாம் கீழ்வருமாறு கனவு காண்போம்: கூடிய மட்டும் பலமான நெம்புகோலை ஒரு சுழல்தானத்தின் மீது வைத்துப் பின் 6×10^{24} கி.கி எடையுள்ள ''ஒரு சிறு கோளத்தை'' அதன் குட்டையான கரத்திலிருந்து தொங்க விடவும். ''சிறு கோளமாக அழுத்தப் பட்டிருக்கிற'' பூமி எவ்வளவு எடையைக் கொண்டிருக்கிறது என்பதை இந்த காட்டுகிறது. இப்பொழுது நீளமான கரத்தில் நம் தசைப் பலத்தைச் செயல்படுத்துவோம்.

ஆர்க்கிமிடீஸ் செயல்படுத்திய விசையின் அளவு 60 கி.கி.வியாக எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டால், பூமியைக் குறிக்கும் ''சிறிய கோளம்'' 1 செ.மீ தூரம் இடப்பெயர்ச்சி அடைய வேண்டுமானால், ஆர்க்கிமிடீஸின் கை $(6 \times 10^{24})/60 = 10^{23}$ மடங்குகள் அதிக தூரத்தைக் கடந்து செல்ல வேண்டியிருக்கிறது. 10^{23} செ.மீ என்பது 10^{18} கி.மீ ஆகும். இது பூமியின் சுற்றுப் பாதையின் விட்டத்தைப் போல மூன்று பில்லியன் மடங்கு அதிகமானதாகும்.

நெம்புகோல் வேலை செய்யும் பொழுது ஏற்படுகிற ''பாதை இழப்பின்'' அளவை விநோதமான இவ்வுதாரணம் மிகத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

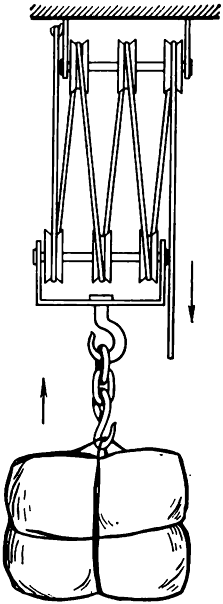
மேலே நாம் பரிசீலித்த உதாரணங்களில் ஒவ்வொன்றும் விசையின் லாபத்தை மட்டுமின்றிப் பாதை இழப்பையும் விளக்கிக் கூறுவதற்குப் பயன்படுகிறது. உந்து வண்டி ஓட்டுநர் ஒருவர் பாரந்தூக்கும் இயந்திரத்தின் உதவியால் உந்து வண்டியைத் தூக்கும் பொழுது, அவருடைய தசை விசை, உந்த வண்டியின் எடையைக் காட்டிலும் எத்தனை மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறதோ அத்தனை மடங்குகள் உந்து வண்டியைத் தூக்க வேண்டிய உயரத்தைக் காட்டிலும், நீளமான பாதையை அவர் கடக்கிறார். தகரத் துண்டை வெட்டுவதற்காகக் கத்தரிக்கோலைப் பயன்படுத்தும் பொழுது, நமது தசை விசை, தகரத் துண்டின் தடையைக்



ஆர்க்கிமிடீஸ் *(கி.மு 287—212)* இவர் பழங்காலத்தைச் சேர்ந்த மிகச் சிறந்த கணிதவியல் அறிஞரும் இயற்பியல் அறிஞரும் பொறியியலாளரும் ஆவார். கோளும், உருளை மற்றும் நீள் வட்டம், உப்பர வளையம், பர வளையம் முதலியவற்றைச் சுழலச் செய்வதன் மூலம் கிடைக்கப் பெறும் பொருட்கள் முதலியவற்றின் கன அளவுகளையும் புறப்பரப் பின் பரப்பளவுகளையும் இவர் கணித்தார். ஒரு வட்டத்தின் பரிதிக்கும் அதன் விட்டத்துக்கும் இடையேயான விகிதத்தைக் கணித்து, இவ்விகிதம் $3.1408 < \pi < 3.1429$

காட்டிலும் எத்தனை மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறதோ அத்தனை மடங்குகள் வெட்டும் ஆழத்தைக் காட்டிலும் அதிக நீளமான பாதையில் நாம் வினை ஆற்றுகிறோம். கடப்பாரையின் உதவியால் கல்லைத் தூக்கும் பொழுது தசை விசை, கல்லின் எடையை விட எத்தனை மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறதோ அத்தனை மடங்கு கை தாழ்த்தப்படுகிற உயரத்தைக் காட்டிலும் குறைவான உயரத்துக்கே கல் தூக்கப்படுகிறது. இவ்விதி திருகு இயக்கத்தின் தத்துவத்தைத் தெளிவாக்குகிறது. 30 செ.மீ நீளமான திருகு சாவி ஒன்றின் உதவியால், 1 மி.மீ திருகுப்புளியைக் கொண்ட செருகுக் குண்டூசியை உட்செலுத்துவதாகக் கற்பனை செய்யவும். ஒவ்வொரு சுற்றின் போதும், செருகுக் குண்டூசி அதன் அச்சின் திசையில் 1 மி.மீ தூரம் முன்னேறிச் செல்கிறது. ஆனால் அதே நேரத்தில் நம் கை 2 மீட்டர் நீளமான பாதையைக் கடந்து செல்கிறது. நம் விசையின் லாபம் 2000 மடங்குகளாகும். நம் கையின் எளிய முயற்சியால் ஆக்கக் கூறுகளை ஒன்று சேர்க்கிறோம். அல்லது ஒரு கனமான எடையை நகர்த்துகிறோம்.

என்னும் ஒப்பின்மைக்குட்பட்டது என்பதை முதன் முதலாக நிரூபித்தவரும் இவரே! இயந்திரவியலில் நெம்புகோலின் விதிகள், பொருட்கள் மிதப்பதற்குத் தேவையான நிபந்தனைகள் (ஆர்க்கிமிடீஸ் தத்துவம்) இணை விசைகளின் சேர்க்கையைக் கட்டுப்படுத்தும் விதிகள் முதலியவற்றையும் இவர் கண்டறிந்தார். தண்ணீரை மேலே ஏற்றுவதற்குப் பயன்படும் இயந்திரம் (தற்காலத்தில் தானாகப் பாய்கிற அல்லது பிசிறத் தன்மை கொண்ட பொருட்களின் போக்குவரத்துக்குப் பயன்படுத்தப்படும் ''ஆர்க்கிமிடீஸ் திருகு'' ஒன்றையும் ரோமர்கள் ஆர்க்கிமிடீஸின் பிறப்பிடமாகிய சிராக்யூசை முற்றுகையிட்ட பொழுது, கனமான பளுக்களையும், இராணுவ எந்திரங்களையும் தூக்குவதில் வெற்றி கண்ட நெம்புகோல்கள் பளுக்கள் அடங்கிய தொகுதிகளையும் இவர் கண்டுபிடித்தார்.



படம் 53

விசையின் லாபத்துக்காகப் பாதையின் இழப்பை ஊதியமாகக் கொடுப்பது நெம்புகோலுக்கு மட்டுமின்றி மனிதன் உபயோகப்படுத்தும் மற்றெல்லா உபாயங்களுக்கும் தொழில் நுணுக்கங்களுக்கும் உரித்தான பொது விதியாயிருக்கிறது.

பளு தூக்குவதற்கு கயிறு கப்பி கலன் (tacle) பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதைத்தான் ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட பல நிலையான கப்பிகள், நகரக்கூடிய கப்பிகளுடன் சேர்க்கப்பட்டிருக்கும் அமைப்பு என நாம் அழைக்கிறோம். படம் 53ல் பளு ஆறு கயிறுகளின் உதவியால் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. எடை கயிறுகளுக்கிடையே பங்கிடப்படுவதால் கயிற்றில் செயல்படுகிற இழுவிசை பளுவின் எடையைக் காட்டிலும் 6 மடங்குக் குறைவாயிருக்கிறது. ஒரு டன் எடையுள்ள பளுவைத் தூக்குவதற்கு $1000/6=167$ கி.கி.வி அளவுள்ள விசையை உபயோகிக்க வேண்டியதிருக்கிறது. ஆயினும் பளுவை 1 மீட்டர் தூரம் உயர்த்துவதற்கு 6 மீட்டர் நீளமான கயிற்றை இழுக்க வேண்டியிருக்கிறது என்பதை அறிந்து கொள்வதில் கடினம் எதுவும் இல்லை. பளுவை 1 மீட்டர் உயரம் தூக்குவதற்கு 1000 கி.கி.வி அளவுள்ள வேலையைச் செய்ய வேண்டியிருக்கிறது. ''ஏதாவது ஒரு வடிவத்தில்'' நாம் இவ்வேலையைச் செய்ய வேண்டியிருக்கிறது. 6 மீட்டர் நீளமான பாதையில்

1000/6 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையும் 100 மீட்டர் நீள மான பாதையில் 10 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையும் 1 கி.மீ நீளமான பாதையில் 1 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையும் செயல் பட வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது.

முதலில் நாம் விவாதித்த சாய்தளமும் பாதையின் இழப்பில் விசையின் லாபத்தைப் பெற வழிவகை செய் யும் ஒரு உபாயமாகும்.

குத்து (blow) விசைகளைப் பெருக்குவதின் தனி வழியா கும். சுத்தியல், கோடாரி, தாக்கு கலம் இவைகளின் உதவி யால் கொடுக்கப்படுகிற அடி அல்லது கை முட்டியால் கொடுக்கப்படுகிற குத்து கூட மிக அதிகமான விசையை உண்டாக்கக்கூடும். பலமான குத்து ஒன்றின் இரகசியம் சிக்கலானதல்ல. எளிதில் வழி விடாத சுவரினுள் ஆணி ஒன்றைச் செலுத்தும் பொழுது (சுத்தியின் உதவியால்) சுத்தியலைத் தாங்கியிருக்கும் கை நல்ல ஊசலை மேற்கொள்ள வேண்டும். ஒரு நல்ல ஊசல், அதாவது நீளமான பாதையில் செயற்படும் விசை சுத்தியலில் அதிகமான இயக்க ஆற்றலை உண்டாக்குகிறது. இவ்வாற்றல் ஒரு சிறு பாதையில் வெளி யிடப்படுகிறது. ஊசல் $\frac{1}{2}$ மீட்டர் தூரத்துக்குப் பரவி யிருந்து ஆணி $\frac{1}{2}$ செ.மீ தூரம் சுவரினுள் சென்றால் விசை 100 மடங்கு பெருக்கமடைகிறது. ஆனால் சுவர் கடினமாயி ருந்து அதே அளவு கையின் ஊசலுக்குப் பின்னர் ஆணி $\frac{1}{2}$ மி. மீ தூரம் சுவரினுள் சென்றால் முந்திய உதாரணத் தைக் காட்டிலும் அடி 10 மடங்கு கூடுதல் பலம் கொண் டதாயிருக்கும்.

கடினமான சுவரினுள் ஆணி அதே ஆழத்துக்கு இறங்குவ தில்லை. அதேவேலை குறுகிய பாதையில் செலவழிக்கப்படு கிறது. சுத்தியல் தானே இயங்கும் இயந்திரம் போன்று வேலை

செய்வதாகத் தோன்றுகிறது. கடினமான சூழ்நிலைகளில் அது அதிகபலத்துடன் தாக்குகிறது.

சுத்தியல் 1கி.கி.வி அளவுள்ள விசையுடன் வேகப்படுத்தப்பட்டால் அது 100 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையுடன் ஆணியைத் தாக்குகிறது. ஆனால் மரத்தை உடைக்கும் கனமான உளி ஒன்றினால் பெரிய மரக்கட்டைகளைப் பிளக்கும் பொழுது சில டன்கள் அளவுடைய விசையுடன் நாம் மரத்தை உடைக்கிறோம். உலோகங்களைக் காய்ச்சி அடிக்கப் பயன்படும் சுத்தியல்கள் ஒரு மீட்டர் அளவுள்ள மிதமான உயரத்திலிருந்து விழுகின்றன. காய்ச்சிய உலோகத் துண்டை 1—2 மி.மீ தட்டையாக்குவதற்கு 1 டன் எடையுள்ள சுத்தியல் ஆயிரக்கணக்கான டன்கள் அளவுள்ள மிக அதிகமான விசையுடன் தாக்குகிறது.

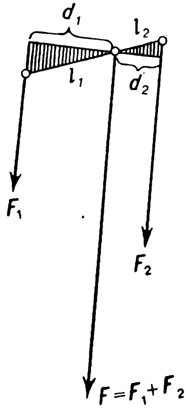
திடப்பொருளின் மீது செயல்படும் இணை விசைகளை எவ்வாறு கூட்டுவது?

முந்திய பக்கங்களில் கொள்கை ரீதியாக ஒரு பொருளை ஒரு புள்ளியாகக் கருதி நாம் இயந்திரவியல் பிணக்குகளுக்குத் தீர்வு காணும் பொழுது விசைகளை எவ்வாறு கூட்டுவது என்ற வினவுக்கு எளிதாகப் பதிலளித்தோம். விசைகளின் இணைகர விதி இக்கேள்விக்கான பதிலைத் தந்தது. விசைகள் இணையாயிருக்கும் பொழுது நாம் அவற்றின் எண்மதிப்புகளை எண்களைப் போன்று கூட்டினோம்.

ஆனால் இப்பொழுது எல்லாமே அதிகச் சிக்கலானவையாயிருக்கின்றன. ஏனெனில் விசை பொருளின் மீது உண்டாக்கிற விளைவு, அவ்விசையின் எண்மதிப்பு, திசை ஆகியவற்றை மட்டுமின்றி அது செயற்படும் புள்ளியையும் அல்லது செயற்கோட்டையும் சார்ந்திருக்கிறது.

விசைகளைக் கூட்டுதல் என்பது, அவ்விசைகளை ஒரேவிசையால் மாற்றீடு செய்வது என்பது பொருளாகும். இது எப்பொழுதும் சாத்தியமானதல்ல.

இணை விசைகளை அவற்றின் தொகுபயனுல் மாற்றீடுசெய்தல் என்னும் பிணக்கு எப்போதும் தீர்வு காணக்கூடிய ஒன்ருகும் (இப்பகுதியின் முடிவில் விவாதிக்க இருக்கும் ஒருவிசித்திரமான சூழ்நிலையைத் தவிர). இணை விசைகளைக் கூட்டுவது பற்றி நாம் இப்பொழுது பரிசீலிப்போம். உண்மையில், 3 கி.கி.வி, 5 கி.கி.வி அளவுள்ள விசைகள் ஒரே திசையில் செயல்பட்டால் அவைகளின் கூட்டுத்தொகை 8 கி.கி.விக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவ்விசைகளின் தொகுபயன் செயற்படும் புள்ளியைக் (செயற்கோடு) கண்டுபிடிப்பதில்தான் சிக்கல் இருக்கிறது.



படம் 54

இரு விசைகள் பொருளின் மீது செயல்பட்டுக் கொண்டிருப்பது படம் 54ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. F என்னும் தொகுபயன் விசை F_1, F_2 என்னும் விசைகளை மாற்றீடு செய்கிறது. ஆனல் $F=F_1+F_2$ என்பது மட்டுமே இதன் அர்த்தமல்ல. F உண்டாக்குகிற திருக்கை F_1, F_2 ஆகிய விசைகள் உண்டாக்குகிற திருப்புத்திறன்களின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருப்பதால் Fன் செயல் F_1, F_2 ஆகியவற்றின் செயல்களின் மொத்தத்துக்கு இணைமாற்ருய் இருக்கிறது.

தொகுபயன் விசையாகிய Fன் செயற்கோட்டை எவ்வாறு குறிப்பது என்பது பற்றி நாம் பார்த்துக் கொண்டிருக்கிரேம். இது F_1 F_1 என்னும் விசைகளுக்கு இணையாயி

செய்வதாகத் தோன்றுகிறது. கடினமான சூழ்நிலைகளில் அது அதிகபலத்துடன் தாக்குகிறது.

சுத்தியல் 1கி.கி.வி அளவுள்ள விசையுடன் வேகப்படுத்தப்பட்டால் அது 100 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையுடன் ஆணியைத் தாக்குகிறது. ஆனால் மரத்தை உடைக்கும் கனமான உளி ஒன்றினால் பெரிய மரக்கட்டைகளைப் பிளக்கும் பொழுது சில டன்கள் அளவுடைய விசையுடன் நாம் மரத்தை உடைக்கிறோம். உலோகங்களைக் காய்ச்சி அடிக்கப் பயன்படும் சுத்தியல்கள் ஒரு மீட்டர் அளவுள்ள மிதமான உயரத்திலிருந்து விழுகின்றன. காய்ச்சிய உலோகத் துண்டை 1—2 மி.மீ தட்டையாக்குவதற்கு 1 டன் எடையுள்ள சுத்தியல் ஆயிரக்கணக்கான டன்கள் அளவுள்ள மிக அதிகமான விசையுடன் தாக்குகிறது.

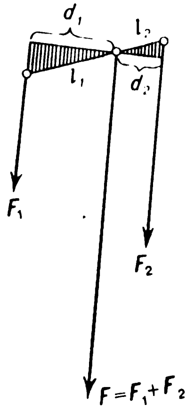
திடப்பொருளின் மீது செயல்படும் இணை விசைகளை எவ்வாறு கூட்டுவது?

முந்திய பக்கங்களில் கொள்கை ரீதியாக ஒரு பொருளை ஒரு புள்ளியாகக் கருதி நாம் இயந்திரவியல் பிணக்குகளுக்குத் தீர்வு காணும் பொழுது விசைகளை எவ்வாறு கூட்டுவது என்ற வினாவுக்கு எளிதாகப் பதிலளித்தோம். விசைகளின் இணைகர விதி இக்கேள்விக்கான பதிலைத் தந்தது. விசைகள் இணையாயிருக்கும் பொழுது நாம் அவற்றின் எண்மதிப்புகளை எண்களைப் போன்று கூட்டினோம்.

ஆனால் இப்பொழுது எல்லாமே அதிகச் சிக்கலானவையாயிருக்கின்றன. ஏனெனில் விசை பொருளின் மீது உண்டாக்கிற விளைவு, அவ்விசையின் எண்மதிப்பு, திசை ஆகியவற்றை மட்டுமின்றி அது செயற்படும் புள்ளியையும் அல்லது செயற்கோட்டையும் சார்ந்திருக்கிறது.

விசைகளைக் கூட்டுதல் என்பது, அவ்விசைகளை ஒரேவிசையால் மாற்றீடு செய்வது என்பது பொருளாகும். இது எப்பொழுதும் சாத்தியமானதல்ல.

இணை விசைகளை அவற்றின் தொகுபயனால் மாற்றீடுசெய்தல் என்னும் பிணக்கு எப்போதும் தீர்வு காணக்கூடிய ஒன்றாகும் (இப்பகுதியின் முடிவில் விவாதிக்க இருக்கும் ஒருவிசித்திரமான சூழ்நிலையைத் தவிர). இணை விசைகளைக் கூட்டுவது பற்றி நாம் இப்பொழுது பரிசீலிப்போம். உண்மையில், 3 கி.கி.வி, 5 கி.கி.வி அளவுள்ள விசைகள் ஒரே திசையில் செயல்பட்டால் அவைகளின் கூட்டுத்தொகை 8 கி.கி.விக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவ்விசைகளின் தொகுபயன் செயற்படும் புள்ளியைக் (செயற்கோடு) கண்டுபிடிப்பதில்தான் சிக்கல் இருக்கிறது.



படம் 54

இரு விசைகள் பொருளின் மீது செயல்பட்டுக் கொண்டிருப்பது படம் 54ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. F என்னும் தொகுபயன் விசை F_1, F_2 என்னும் விசைகளை மாற்றீடு செய்கிறது. ஆனால் $F=F_1+F_2$ என்பது மட்டுமே இதன் அர்த்தமல்ல. F உண்டாக்குகிற திருக்கை F_1, F_2 ஆகிய விசைகள் உண்டாக்குகிற திருப்புத்திறன்களின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருப்பதால் Fன் செயல் F_1, F_2 ஆகியவற்றின் செயல்களின் மொத்தத்துக்கு இணைமாற்றாய் இருக்கிறது.

தொகுபயன் விசையாகிய Fன் செயற்கோட்டை எவ்வாறு குறிப்பது என்பது பற்றி நாம் பார்த்துக் கொண்டிருக்கிறோம். இது F_1 F_1 என்னும் விசைகளுக்கு இணையாயி

ருக்கும் என்பதை உண்மைதான். ஆனால் F_1, F_2 ஆகிய விசைகளின் செயற்படும் புள்ளியிலிருந்து இது எவ்வளவு தூரத்தில் அமைந்திருக்கிறது?

F_1, F_2 ஆகிய விசைகளின் செயற்படும் புள்ளிகளைச் சேர்க்கும் துண்டின் மீது அமையப் பெற்ற ஒரு புள்ளியே Fன் செயற்படும் புள்ளி எனப் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. தேர்ந்தெடுத்திருக்கிற இப்புள்ளிக்குச் சார்பாக இவ்விசையின் திருப்புதிறன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆனால், இப்புள்ளிக்குச் சார்பாக F_1, F_2 ஆகிய விசைகளின் திருப்புத்திறன்களின் கூட்டுத்தொகையும் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருத்தல் வேண்டும். அதாவது F_1, F_2 ஆகிய உண்டாக்குகிற திருக்கைகள், எண்மதிப்பில் சமமாகவும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல்படுவனவாகவும் அமைய வேண்டும்.

F_1, F_2 ஆகிய விசைகளைக் கொண்ட நெம்புகோல் கரங்களை d_1, d_2 எனக் குறித்தால் இதற்கான நிபந்தனையைக் கீழ்வருமாறு எழுதலாம்.

$$F_1d_1=F_2d_2 \text{ அல்லது } \frac{F_1}{F_2}=\frac{d_2}{d_1}$$

கருப்பிட்டுக் காட்டப்பட்டிருக்கிற முக்கோணங்கள் வடிவொத்தவை என்பதிலிருந்தும் $\frac{d_2}{d_1}=\frac{l_2}{l_1}$ என்பது தெரியவருகிறது. தொகுபயன் விசை செயற்படும் புள்ளி, கூட்டப்படுகிற விசைகளின் செயற்படும் புள்ளிகளைச் சேர்க்கும் துண்டின் நீளத்தை முறையே விசைகளுக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும்படியாக l_1, l_2 என்ற பாகங்களாகப் பிரிக்கிறது.

F_1, F_2 ஆகிய விசைகள் செயற்படும் புள்ளிகளுக்கிடையேயான தூரத்தை l எனக் குறிக்கவும். $l=l_1+l_2$ என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது.

இரு வேறிகளைக் கொண்ட கீழ்வரும் இரு சமன்பாடுகளை உடைய தொகுதிக்கு நாம் தீர்வு காண்போம்:

$$F_1l_1 - F_2l_2 = 0$$

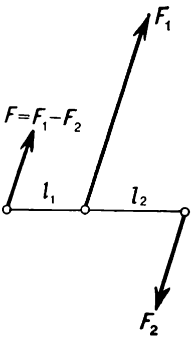
$$l_1 + l_2 = l$$

$$l_1 = \frac{F_2 l}{F_1 + F_2}; \quad l_2 = \frac{F_1 l}{F_1 + F_2}$$

என்பதை நாம் அடைகிறோம்.

விசைகள் ஒரே திசையில் செயல்படும் பொழுது மட்டுமின்றி எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல்படும் பொழுதும் (இணை எதிர் விசைகள்) இச்சூத்திரங்களின் மூலம் தொகுபயன் விசை செயற்படும் புள்ளியை நாம் கண்டு கொள்ள முடிகிறது. விசைகள் எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல்படும் பொழுது அவை எதிர்க் குறியீடுகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றின் தொகுபயன் விசை, விசைகளின் வித்தியாசமாகிய $F_1 - F_2$ க்குச் சமமாயிருக்குமேயன்றி, கூட்டலுக்குச் சமமாயிருக்காது. இரு விசைகளிலும் சிறியதாகிய F_2, எதிர்க் குறியீட்டைக் கொண்டிருப்பதாக எடுத்துக் கொண்டால் l_1 எதிர்க் குறியீட்டைப் பெறுகிறது என்பதை நம் சூத்திரங்களின் மூலம் அறிகிறோம். F_1 செயற்படும் புள்ளி தொகுபயன் விசை செயற்படும் புள்ளிக்கு இடப்பக்கமாக (முன்னர் இருந்தது போல) அமைந்திருக்காமல், வலப்பக்கமாக அமைந்திருக்கிறது (படம் 55). மேலும் முந்திய உதாரணத்தைப் போன்றே $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

இரண்டு சமமான இணை எதிர் விசைகள் செயல்படும் பொழுது நம் கவனத்தைக் கவரும் விளைவு ஒன்று ஏற்படுகிறது. $F_1 + F_2 = 0$ ஆகவே l_1 l_2, ஆகியவை வரம்பற்ற பெரிய எண்களாக இருக்கின்றன என்பதை நம் சூத்திரங்கள் நிரூபிக்கின்றன. இவ்வுறுதிப்பாட்டின் இயற்பியல்



படம் 55

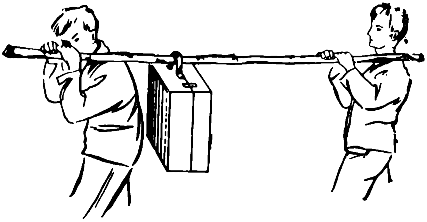
பொருள் என்ன? தொகுபயன் விசையை ஈறிலா தூரத்தில் வைப்பது அர்த்தமற்றதாயிருப்பதால் இரண்டு சமமான இணையெதிர் விசைகளை ஒரு விசையால் மாற்றீடு செய்யமுடியாது. விசைகளின் இப்படிப்பட்ட சேர்க்கை இரட்டை (couple) என அழைக்கப்படுகிறது.

இரட்டையின் செயலைத் தனித்த விசையின் செயலாகக் குறைக்க முடியாது. எந்த இரு இணை விசைகள் அல்லது இணையெதிர் விசைகளை ஒரு தனி விசை சரியீடு செய்யமுடியும். ஆனல் இரட்டையை இவ்வாறு செய்ய முடியாது.

ஒரு இரட்டையை அமைக்கும் இரு விசைகள் ஒன்றையொன்று சரியீடு செய்துவிடும் என்று சொல்வது தவறு. இரட்டை முக்கியமான விளைவை ஏற்படுத்துகிறது. இது பொருளைச் சுற்றுகிறது. இரட்டை நேர்ப் பெயர்ச்சி இயக்கத்தை உண்டாக்குவதில்லை என்னும் உண்மையில்தான் இரட்டையின் செயலின் விசித்திரத் தன்மை அடங்கியிருக்கிறது.

சில சூழ்நிலைகளில் இரு இணை விசைகளைக் கூட்டுவது பற்றிய பிரச்சினை எழாமல் குறிப்பிட்ட விசையை இரு இணை விசைகளாகப் பிரிவீடு செய்ய வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது.

தடியுடன் சேர்த்து கனமான பெட்டி ஒன்றையும் இருவர் கொண்டு செல்வது படம் 56ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. பெட்டியின் எடை இருவருக்குமிடையே பங்கிடப்படுகிறது. பளு, தடியின் மையத்தில் கீழ்நோக்கி அழுத்திஞல் அவர்கள் இருவரும் சம எடையை உணர்கிருர்கள். பளு செயற்



படம் 56

படும் புள்ளியிலிருந்து அதைத் தாங்கிச் செல்பவர்கள் முறையே d_1, d_2 என்னும் தூரங்களில் இருந்தால் கீழ்வரும் விதியின்படி F என்னும் விசை F_1, F_2 என்னும் விசைகளாகப் பிரிவீடு செய்யப்படுகிறது,

$$\frac{F_1}{F_2}=\frac{d_2}{d_1}$$

பலமான மனிதன் பளுவுக்கு அருகில் தடியைத் தாங்கிச் செல்லவேண்டும்.

ஈர்ப்பு மையம்

பொருளில் அடங்கியிருக்கும் எல்லாத் துகள்களும் எடையைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஆகவே திடப்பொருள் எண்ணிலடங்காத ஈர்ப்பு விசைகளின் செயற்பாட்டுக்கு இலக்காகிறது. மேலும் இவ்விசைகள் யாவும் இணையானவை. அப்படியானால் நாம் சற்று முன்னர் குறிப்பிட்ட விதியின்படி இவ்விசைகள் எல்லாவற்றையும் கூட்டி அவற்றை ஒரு விசையால் மாற்றீடு செய்ய முடிகிறது. இவ்விசைகளின் தொகுபயன் செயற்படும் புள்ளியே ஈர்ப்பு மையம் என அழைக்கப்படுகிறது. பொருளின் எடை முழுவதும் இப்புள்ளியில் ஒருமுனைப்படுத்தப்பட்டது போன்று தோன்றுகிறது.

ஒரு பொருளை அதன் ஏதாவது ஒரு புள்ளியிலிருந்து

தொங்க விடுவோம். இப்பொருள் எவ்வாறு தொங்குகிறது? கொள்கை ரீதியாகப் பொருளை அதன் ஈர்ப்பு மையத்தில் ஒருமுனைப்படுத்தப்பட்டிருக்கிற பளுவால் நாம் மாற்றீடு செய்யலாம் என்பதால் சமநிலையிலிருக்கும் பொழுது இப் பளு சுழல்தானத்தின் வழியாகச் செல்கிற நிலைக்குத்துக் கோட்டின் மேல் அமைந்திருக்கும் என்பது தெளிவாகிறது. இன்னொரு விதமாகக் கூறினால், சமநிலையில் இருக்கும் பொழுது ஈர்ப்பு மையம், சுழல்தானத்தின் வழியாகச் செல் கிற நிலைக்குத்துக் கோட்டின் மீது கூடிய மட்டும் தாழ்வான நிலையில் அமைந்திருக்கிறது.

அச்சின் வழியாகச் செல்கிற நிலைக்குத்துக் கோட்டின் மீது, சுழல்தானத்துக்கு மேல் ஈர்ப்பு மையம் அமைந்திருக் கும்படியும் நாம் செய்ய முடியும். மிகவும் பிரயாசப்பட்டு, அதுவும் உராய்வு இருக்கும் போது மட்டுமே இது சாத்தி யமாகிறது. இத்தகைய சமநிலை உறுதியில்லாததாயிருக்கிறது.

உறுதிச் சமநிலைக்கு அவசியமான நிபந்தனையைப் பற்றி நாம் ஏற்கனவே விவாதித்திருக்கிறோம். நிலையாற்றல் சிறும மாக இருத்தல் அவசியம். ஈர்ப்பு மையம் சுழல்தானத்துக் குக் கீழ் அமைந்திருக்கும் பொழுது சரியாக நிலையாற்றல் சிறுமமாக இருக்கிறது. இதிலிருந்து உண்டாகிற எந்த விலக் கமும் ஈர்ப்பு மையத்தை உயரத்துக்குக் கொண்டு செல்கி றது. ஆகவே இது நிலையாற்றலை அதிகப்படுத்துகிறது. இதற்கு மாறாக ஈர்ப்பு மையம் சுழல்தானத்துக்கு உயரத்தில் அமைந் திருந்தால் சிறு மூச்சு கூட இப்பொருளை இந்நிலையிலிருந்து மாற்றி அதனால் நிலை ஆற்றல் குறைவுபடுவதற்குக் காரண மாயிருக்கிறது. இத்தகையதொரு நிலை உறுதியில்லாத ஒன் றாகும்.

அட்டைப் பலகையிலிருந்து ஏதேனும் ஒரு வடிவத்தை வெட்டி எடுக்கவும். இவ்வடிவத்தின் ஈர்ப்பு மையத்தைக் காண வேண்டுமானால் முதலாவதாக ஏதாவது ஒரு புள்ளி

யிலிருந்தும் பின்னர் மற்றொரு புள்ளியிலிருந்தும் ஆக இரு முறை அப்பொருளை நூலில் தொங்க விடவும். இவ்வடிவத்தை அதன் ஈர்ப்பு மையத்தின் வழியே செல்லும் அச்சுடன் பிணைக்கவும். ஒன்று, இரண்டு, மூன்று ... எனப் பல நிலைகளுக்கு அவ்வடிவத்தைத் திருப்பவும். இச்செயலின்போது பொருள் முழுவதுமாக நடுநிலையில் இருப்பதை நாம் பார்க்கிறோம். ஒவ்வொரு நிலையிலும் பொருள் பிரத்யேகச் சமநிலை ஒன்றை அடைகிறது. இதையே நாம் நடுநிலை என அழைக்கிறோம்.

இதற்கான காரணம் தெளிவாகத் தெரிய வருகிறது. ஒரு வடிவம் எந்நிலையில் இருந்தாலும் அதை மாற்றீடு செய்யும் பருப்பொருள் புள்ளி ஒரே இடத்திலேயே அமைந்திருக்கிறது.

பரிசோதனைகள் அல்லது கணக்கீடுகள் இன்றியே சில உதாரணங்களில் ஈரப்பு மையத்தைக் கண்டு கொள்ள முடிகிறது. உதாரணமாக, கோளம், வட்டம், சதுரம், செவ்வகம் ஆகியவை சமச்சீரான வடிவங்களாதலால், இவற்றின் ஈர்ப்பு மையங்கள் இவ்வடிவங்களின் மையங்களிலேயே அமைந்திருக்கின்றன. சமச்சீரான பொருளைக் கொள்கை ரீதியாக நாம் சிறு துகள்களாக உடைத்தால், அவற்றில் ஒவ்வொன்றும் மையத்திற்கு அடுத்த பக்கத்தில் சமச்சீராக அமைந்திருக்கும் மற்றொரு பகுதியுடன் ஒத்ததாய் இருக்கிறது. ஆனால் இத்தகைய துகள்களின் ஒவ்வொரு சதைக்கும் வடிவத்தின் மையமே ஈர்ப்பு மையமாயிருக்கும்.

முக்கோணத்தின் ஈர்ப்பு மையம் அதன் மையக்கோடுகளின் (medians) இடைவெட்டில் அமைந்திருக்கிறது. நாம் முக்கோணத்தை ஏதாவது ஒரு பக்கத்துக்கு இணையாகக் குறுகிய பட்டைகளாகப் பிரிப்போம். இப்பட்டைகள் எல்லாவற்றையும் மையக்கோடு பாதியாக வெட்டுகிறது. ஆனால் பட்டையின் ஈர்ப்பு மையம் பட்டையின் பாதி தூரத்தில்,

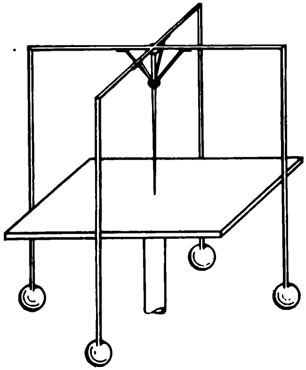
அதாவது மையக்கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கிறது என் பதை நாமறிவோம். எல்லாப் பட்டைகளின் ஈர்ப்பு மையங் களும் மையக்கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கின்றன. நாம் இப்பட்டைகளின் எடை விசைகளைச் சேர்க்கும் பொழுது முக்கோணத்தின் ஈர்ப்பு மையம் மையக்கோட்டின் மீது ஏதோ ஒரு புள்ளியில் அமைந்திருக்கிறது என்ற முடிவுக்கு நாம் வருகிறோம். முக்கோணத்தின் மூன்று மையக்கோடுக ளுக்கும் இவ்விவாதம் பொருந்துகிறது. ஆகவே முக்கோணத் தின் ஈர்ப்பு மையம், மையக்கோடுகளின் இடைவெட்டில் அமைந்திருக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது.

ஆனால் மூன்று மையக்கோடுகளும் ஒரே புள்ளியில்தான் வெட்டுகின்றன என்பதை வாசகர்கள் நம்பக்கூடிய வகை யில் விளக்கிக் கூறவில்லை. இது வடிவியலில் நிரூபிக்கப்படுகி றது. ஆனால் நமது விவாதம் கவனத்தைக் கவரும் இத்தேற் றத்தையும் நிரூபிக்கிறது. பொருள் சில ஈர்ப்பு மையங்களைக் கொண்டிருக்க முடியாது. ஈர்ப்பு மையம் ஒரே புள்ளியில் அமைந்திருப்பதாலும் எந்த உச்சியிலிருந்து வரையப்பட்ட மையக்கோடு ஆனாலும் ஈர்ப்பு மையம் அதன் மீது அமை யப்பெற்றிருப்பதாலும் மூன்று மையக்கோடுகளும் ஒரே புள் ளியில் வெட்டுகின்றன. இயற்பியல் பிணக்கைச் சூத்திரப் படுத்துவதின் மூலம் நாம் வடிவியல் தேற்றத்தை நிரூபித் திருக்கிறோம்.

படித்தான கூம்பு ஒன்றின் ஈர்ப்பு மையத்தைக் கண்டு பிடிப்பது சிறிது கடினமாயிருக்கிறது. ஈர்ப்பு மையம் அதன் அச்சின் மீது அமைந்திருக்கிறது என்பது அதன் சமச்சீர் தன்மையின் பரிசீலனையால் மட்டுமே தெளிவாகிறது. இது உச்சியிலிருந்து உயரத்தின் நான்கில் ஒரு பங்கு தூரத்தில் அமைந்திருக்கிறது என்பதைக் கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. பொருளின் ஈர்ப்பு மையம் அப்பொருளின் உள்ளேயே அமைந்திருக்க வேண்டும் என்பது அவசியமில்லை. உதார

ணமாக, வளையத்தின் ஈர்ப்பு மையம் அதன் மையத்தில், அதாவது வளையத்துக்கு வெளியில் அமைந்திருக்கிறது.

கண்ணுடி தளம் ஒன்றின் மீது ஊசியைச் செங்குத்தான நிலையில் நிலையாக இருக்கும்படி வைத்தல் சாத்தியமாகுமா?

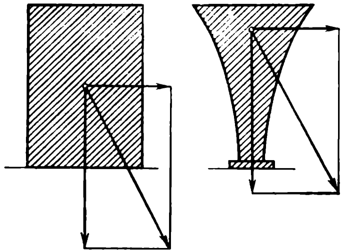


படம் 57

இதை எவ்வாறு செய்ய வேண்டும் என்பதை படம் 57 காட்டுகிறது. நுகத்தடி போன்ற வடிவமுடைய கம்பிகளிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிற, நான்கு சிறு பளுக்களால் ஆன சிறு உபகரணம் இந்த ஊசியுடன் விறைப்பாகச் சேர்த்துக் கட்டப்பட வேண்டும். பளுக்கள் சுழல்தானத்துக்குக் கீழே தொங்கிக் கொண்டிருப்பதாலும் ஊசியின் எடை குறைவாயிருப்பதாலும் ஈர்ப்பு மையம் சுழல்தானத்துக்குக் கீழே அமைந்திருக்கிறது. ஊசியின் இந்நிலை உறுதியாயிருக்கிறது.

இதுவரையிலும், புள்ளிகளில் தாங்கப்பட்டிருக்கிற பொருள்களைப் பற்றிப் பார்த்துக் கொண்டிருந்தோம். பரப்புத் தனிமம் முழுவதாலும் பொருள் தாங்கப்படும் பொழுது அதன் நிலைமை எவ்வாறு இருக்கிறது?

இச்சூழ்நிலையில், ஈர்ப்பு மையம் ஆதாரத்துக்கு உயரத்தில் அமைந்திருப்பதால் சமநிலை உறுதியில்லாததாக அமைகிறது என்பதைக் குறிப்பாகச் சொல்ல முடியாது என்பது தெளிவாகிறது. இது உண்மையில்லையெனில் கண்ணுடிப் பாத்திரங்கள் எவ்வாறு மேசையின் மீது நிற்க முடிகிறது? ஈர்ப்பு மையத்திலிருந்து வரையப்பட்ட ஈர்ப்பு விசையின்



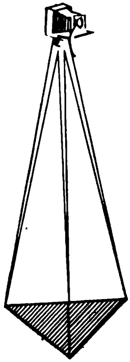
படம் 58

செயற்கோடு தாங்கு பரப்பின் வழியாகச் செல்ல வேண்டும் என்பதே சமநிலைக்கு அவசியமான ஒரு நிபந்தனையாகும். இதற்கு மாறாக விசையின் செயற்கோடு தாங்கு பரப்புக்கு வெளியே சென்றால் பொருள் கீழே விழும்.

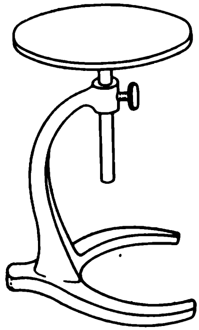
ஆதாரத்திலிருந்து ஈர்ப்பு மையம் எவ்வளவு உயரத்தில் இருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்து சமநிலையின் தரம் மிகவும் வித்தியாசப்படலாம். அதிகக் கவனக் குறைவான ஒருவரே தேநீரைக் கொண்டுள்ள கண்ணாடிக் குவளையைத் தலைகீழாகத் தட்டிவிடுவார். ஆனால் சிறு அடிப் பகுதியைக் கொண்ட ஒரு பூச்சட்டியைச் சற்றுக் குறைவாகத் தொடுவதினாலேயே அது தலைகீழாகச் சாய்கிறது. இதில் அடங்கியிருக்கும் உண்மை என்ன?

படம் 58—ஐக் கவனித்துப் பார்க்கவும். தலைகீழாகச் சாய்க்கும் தன்மையுள்ள ஒரே விசை, ஈர்ப்பு விசையுடன் சேர்ந்து ஈர்ப்பு மையம் ஆதாரத்துக்குக் கீழே இருக்கும் பொழுது, பொருளை ஆதாரத்துடன் சேர்த்து அழுத்துகிறது. ஈர்ப்பு மையம் ஆதாரத்துக்கு உயரத்தில் இருக்கும் பொழுது இவ்விசைகளின் தொகுபயன் தாங்குப் பரப்பின் வழியாகச் செல்லாமல் பக்கமாகச் செயல்படுகிறது.

பொருள் சமநிலையிலிருக்க வேண்டுமானால் அப்பொருளின் மீது செயல்படுகிற விசை தாங்கு பரப்பின் வழியாகச் செல்ல வேண்டும் என்று நாம் கூறியிருக்கிறோம். சம



படம் 59



படம் 60

நிலைக்குத் தேவையான ஆதாரத்தின் பரப்பு எப்பொழுதுமே உண்மையான ஆதாரத்தின் பரப்புடன் ஒத்திருப்பதில்லை. பிறைச் சந்திரன் வடிவத்தில் ஆதாரத்தின் பரப்பைக் கொண்டுள்ள பொருள் படம் 59ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. பிறைச் சந்திரன் திடப்பொருளாலான அரைவட்டத் தட்டாக அமைக்கப்பட்டாலும் பொருளின் சமநிலை மாறுமலிருக்கிறது என்பதைத் தெரிந்து கொள்ளுதல் எளியதாயிருக்கிறது. இவ்வாறு, சமநிலைக்கு அவசியமான நிபந்தனையை நிர்ணயிருக்கிற தாங்கு பரப்பானது உண்மையான தாங்கு பரப்பைக் காட்டிலும் அதிகமாயிருக்கலாம்.

படம் 60ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிற முக்காலியின் தாங்கு பரப்பைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு அதன் முனைகளை நேர்கோட்டுத் துண்டுகளால் சேர்க்க வேண்டும்.

இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கயிற்றின் மீது நடப்பது ஏன் கடினமாயிருக்கிறது? தாங்கு பரப்பு மிகவும் சிறியதாக இருப்பதே இதன் காரணமாகும். இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கயிற்றின் மீது நடக்கும் திறமையுள்ளவர்கள் பாராட்டுத

லைப் பரிசாகப் பெறுகிறார்கள். ஆயினும் கடினமான வேலையைப் புத்திசாலித்தனமான யுக்திகளால் எளிதாக்குதல் என்னும் கலைத்திறனின் சுருக்கமே இது எனப் பார்வையாளர்கள் சில சமயங்களில் தவறாகப் புரிந்து கொள்கிறார்கள். வித்தை செய்பவர் அதிகமாக வளைந்திருக்கும் ஒரு நுகத் தடியை அதிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிற நீர் நிறைந்த இரு வாளிகளுடன் எடுத்துச் செல்கிறார். வாளிகள் இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கயிற்றின் மட்டத்தில் தொங்குவதாகத் தோன்றுகிறது. இயக்குநர் இசைக்குழுவை நிறுத்திய அதே நேரத்தில் வித்தைக்காரர் நேரான பார்வையைக் கொண்ட முகத்துடன் இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிற கயிற்றின் மீது நடக்க ஆரம்பிக்கிறார். அனுபவமடையாத பார்வையாளர், வித்தை எவ்வளவு சிக்கலானது என எண்ணுவார். ஆனால் உண்மையில் ஈர்ப்பு மையத்தைக் கீழிறக்கி வித்தைக்காரர் அவருடைய வேலையை எளிதாக்கியிருக்கிறார்.

பொருண்மை மையம்

சில பொருட்கள் அடங்கிய தொகுதி ஒன்றின் ஈர்ப்பு மையம் எங்கு அமைந்திருக்கும்? என்ற கேள்வியை எழுப்புவது முழுவதும் நியாயமானதாகவே இருக்கிறது. கட்டுமரத்தின் மீது பலர் அமர்ந்திருந்தால் அதன் சமநிலை அவர்களுடைய (பாய்மரத்தின் ஈர்ப்பு மையத்தையும் சேர்த்து) ஈர்ப்பு மையங்களின் அமைவிடங்களைப் பொறுத்திருக்கிறது.

ஈர்ப்பு மையம் என்னும் இவவியற்பாட்டின் அர்த்தம் இச்சூழ்நிலையிலும் மாறாமல் இருக்கிறது. நம் பரிசீலனையின் கீழ் உள்ள தொகுதியில் அடங்கிய எல்லாப் பொருட்களின் ஈர்ப்பு விசைகளின் கூட்டுத்தொகை செயல்படும் புள்ளியே இத்தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையாக இருக்கிறது.

இரு பொருட்கள் அடங்கிய தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையத்தின் கணக்கீட்டு முடிவு நாம் யாவரும் அறிந்த ஒன்றே! F_1, F_2 என்னும் எடைகளைக் கொண்ட இரண்டு பொருட்கள் ஒன்றுக்கொன்று x தூரத்தில் அமைந்திருந்தால் இத்தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையம் முதல் பொருளிலிருந்து x_1 தூரத்திலும் இரண்டாவது பொருளிலிருந்து x_2 தூரத்திலும் அமைந்திருக்கிறது.

இங்கு $x_1+x_2=x$ மற்றும்

$$\frac{F_1}{F_2}=\frac{x_2}{x_1}$$

எடை, mg என்னும் பெருக்கற்பலனால் குறிப்பிடப்படுவதால் இரண்டு பொருட்கள் அடங்கிய தொகுதி ஒன்றின் ஈர்ப்பு மையம் கீழ்வரும் நிபந்தனையைப் பூர்த்தி செய்கிறது.

$$m_1x_1=m_2x_2,$$

அதாவது பொருண்மைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தைப் பொருண்மைகளின் எதிர் விகிதத்தில் பிரிக்கக் கூடிய புள்ளியில் ஈர்ப்பு மையம் அமைந்திருக்கிறது.

இப்பொழுது மேடையுடன் பொருத்தப்பட்ட துப்பாக்கியை இயக்குவதாக மனதில் நினைத்துக் கொள்ளவும். துப்பாக்கி, குண்டு ஆகியவற்றின் உந்தங்கள் எண்மதிப்புகளில் சமமாகவும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல்படுவனவாகவும் இருக்கின்றன. கீழ்வரும் சமன்பாடுகள் உண்மையாயிருக்கின்றன:

$$m_1v_1=m_2v_2 \text{ அல்லது } \frac{v_2}{v_1}=\frac{m_1}{m_2},$$

இங்கு செயலெதிர்ச் செயல் நடைபெறும் முழு நேரத்தின் போதும் வேகங்களின் விகிதம் இம்மதிப்பையே கொண்டிருக்கிறது. பின் உதைப்பின் விளைவாக ஏற்படுகிற

இயக்கத்தின் போது துப்பாக்கியும் குண்டும் அவைகளின் ஆரம்ப நிலைகளிலிருந்தும் முறையே x_1, x_2 தூரங்கள் எதிர்த் திசைகளில் இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றன. x_1, x_2 என்னும் தூரங்கள்—இரண்டு பொருட்கள் கடந்து சென்ற பாதைகளின் நீளங்கள்—அதிகரிக்கின்றன. வேகங்களின் விகிதம் மாறிலியாய் அமையும் பொழுது இத்தூரங்களின் விகிதமும் எப்பொழுதும் மாறுமலிருக்கிறது:

$$\frac{x_2}{x_1}=\frac{m_1}{m_2} \text{ அல்லது } x_1m_1=x_2m_1$$

இங்கு x_1, x_2 ஆகிய தூரங்கள் ஆரம்ப நிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற துப்பாக்கி, குண்டு ஆகியவை அமைந் திருக்கும் தூரங்களாகும். இச்சூத்திரத்தை, ஈர்ப்பு மையத்தின் அமைவிடத்தை நிர்ணயிக்கிற சூத்திரத்துடன் ஒப்பிடும் பொழுது இவ்விரு சூத்திரங்களும் முழுவதும் ஒத் திருப்பதை நாம் காண்கிறோம். துப்பாக்கி, குண்டு அடங்கிய தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையம் அதன் ஆரம்ப இடத்திலேயே எப்பொழுதும் அமைந்திருக்கும் என்பது இதிலிருந்தும் உடனேயே தெரிய வருகிறது.

வேறு விதமாகக் கூறினல் துப்பாக்கியிலிருந்து குண்டு பாய்ந்த பின்னரும் துப்பாக்கி, குண்டு அடங்கிய தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையம் ஓய்வு நிலையிலேயே இருக்கிறது என்னும் முக்கியமான முடிவுக்கு நாம் வருகிறோம்.

இந்த முடிவு எப்பொழுதும் உண்மையாகவே இருக்கிறது. இரு பொருட்கள் அடங்கிய தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையம் ஆரம்பத்திலேயே ஓய்வு நிலையில் இருந்தால் அவற்றிற்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயல், அது எத்தன்மையதாயினும், ஈர்ப்பு மையத்தின் நிலையை மாற்றுவதில்லை. காந்தம் இரும்பைக் கவரும் என்னும் எண்ணத்தில், கையில் இரும்புத் துண்டை வைத்துக் கொண்டு காந்தத்தை மேலே

எறிவதன் மூலம் இரும்புடன் சேர்ந்த அவரையும் காந்தம் உயரத்துக்கு இழுக்கும் என்னும் (உண்மையில் ஹேஸ்ய மாக) கருத்துத் தெரிவித்த பிரெஞ்சு எழுத்தாளராகிய சிரானோ டி பெர்சிராக்கின் முறையைப் பின்பற்றி சந்திரன் வரைக்கும் ஒருவர் தன்னைத் தானே இழுத்துச் செல்வது சாத்தியமானதல்ல.

ஒய்வு நிலையிலிருக்கும் ஈர்ப்பு மையம் வித்தியாசமான சடத்துவத் தொகுதியின் நோக்கு நிலையிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது சீராக இயங்கிக் கொண்டிருப்பதாகத் தோன்று கிறது. எனவே ஈர்ப்பு மையம் ஒய்வு நிலையில் இருக்கிறது அல்லது நேர் கோட்டுப் பாதையில் சீராக இயங்கிக் கொண் டிருக்கிறது.

இரு பொருட்கள் அடங்கிய தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையத் தைப் பற்றி நாம் கூறியவை அனைத்தும் இரண்டுக்கு மேற் பட்ட பொருட்களைக் கொண்ட தொகுதிக்கும் உண்மையா யிருக்கிறது. உண்மையில் சில பொருட்கள் அடங்கிய தனி மைப்படுத்தப்பட்ட தொகுதி ஒன்றுக்கு நாம் உந்தத்தின் அழி வின்மை விதியை உபயோகிக்கும் பொழுது இதை முன் வரையாகக் கூறுகிறோம்.

இதன் விளைவாக, செயலெதிர்ச் செயல்படுகிற பொருட்கள் அடங்கிய தொகுதி ஒவ்வொன்றும் ஒய்வு நிலை யில் இருக்கும் அல்லது சீராக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு புள்ளியைக் கொண்டிருக்கிறது. இப்புள்ளியே இத் தொகுதியின் ஈர்ப்பு மையம் என அழைக்கப்படுகிறது.

இப்புள்ளியின் புதிய தன்மையை நாம் வற்புறுத்திக் கூற விரும்புகிறபடியால் இதற்கு நாம் பொருண்மை மையம் என்னும் கூடுதல் பெயர் ஒன்றைச் சூட்டுகிறோம். உண் மையில் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் எடை பற்றிய கேள்வி (ஆகவே அதன் ஈர்ப்பு மையம்) அனுமானமான அர்த்தத் தையே கொண்டிருக்க வேண்டும்.

மூடிய தொகுதி ஒன்றில் அடங்கியிருக்கும் பொருட்கள் எவ்வாறு இயங்குகின்றன என்பதைப் பொறுத்திராமல் அவற்றின் பொருண்மை மையத்தை எப்பொழுதும் ஒய்வு நிலையிலேயே வைத்துக் கொள்கின்றன அல்லது மற்ருெரு குறிப்புச் சட்டத்தில், சடத்துவத்தால் இயங்கச் செய்கிறது.

கோண உந்தம்

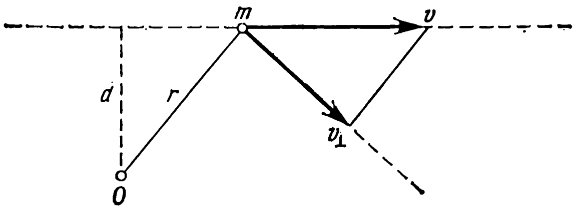
ஒரு புதிய முக்கியமான இயக்க விதியை அமைப்பதற்கு நமக்கு உதவியாயிருக்கும் மற்றுமொரு இயந்திரவியல் இயற்பாட்டை நாம் இங்கு அறிமுகப்படுத்துவோம்.

இந்த இயற்பாடே **கோண உந்தம்** அல்லது **உந்தத்தின் திருப்புத்திறன்** என அழைக்கப்படுகிறது. விசையின் திருப்புத்திறனுடன் ஒத்திருக்கும் கணியத்தைப் பற்றி நாம் பார்த்துக் கொண்டிருக்கிருேம் என்பதை இதன் பெயர்களே அறிவித்து விடுகின்றன.

விசையின் திருப்புத்திறனைப் போலவே, உந்தத்தின் திருப்புத்திறனுக்கும், திருப்புத்திறன் எந்தப் புள்ளிக்குச் சார்பாக வரையறுக்கப்படுகிறது என்ற குறிப்பு அவசியமாயிருக்கிறது. ஏதாவது ஒரு புள்ளிக்குச் சார்பாகக் கோண உந்தம் வரையறுக்கப்பட வேண்டுமானல், உந்தத் திசையுளியை அமைத்துப் பின் அப்புள்ளியிலிருந்து உந்தத் திசையுளியின் திசைக்கு செங்குத்துக் கோடு ஒன்றுவரைய வேண்டும் (படம் 61). உந்தமாகிய mv, நெம்புகோல் கரமாகிய d ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனே சரியாகக் கோண உந்தமாக அமைகிறது. இதை நாம் N என்னும் எழுத்தால் குறிக்கிருேம்:

$$N = mvd$$

பொருள் சுயமாக இயங்கும் பொழுது அதன் திசைவேகம் மாறுவதில்லை. இயக்கம் நேர்கோட்டின் மீது நடை



படம் 61

பெறுவதால் எந்தப் புள்ளிக்கும் சார்பான நெம்புகோல் கரமும் மாறிலியாயிருக்கிறது. இதன் விளைவாக இத்தகைய இயக்கத்தின் போது கோண உந்தமும் மாறிலியாயிருக்கிறது.

விசையின் திருப்புத்திறனைப் போன்றே உந்தத்தின் திருப்புத்திறனுக்கும் நாம் வித்தியாசமான சூத்திரம் ஒன்றைத் தருவிக்கலாம். பொருளின் இருப்பிடத்திற்கும் எந்தப் புள்ளிக்குச் சார்பான கோண உந்தத்தில் நாம் அக்கறை கொண்டுள்ளோமோ அப்புள்ளிக்கும் இடையே ஆரம் வரையவும் (படம் 61). இந்த ஆரத்துக்குச் செங்குத்தான திசையில் திசைவேகத்தின் எறிதலை அமைக்கவும். படத்தில் அமைக்கப்பட்டிருக்கிற வடிவொத்த முக்கோணங்களிலிருந்தும் $\frac{v}{v_1}=\frac{r}{d}$ என்பது தெரிய வருகிறது. ஆகவே, $vd=v_{\perp}r$. இப்பொழுது கோண உந்தத்துக்கான சூத்திரம் பின்வரும் வடிவத்திலும் எழுதப்படலாம்:

$$N=mv_{\perp}r$$

நாம் சற்று முன்னர் கூறியது போல சுய இயக்கத்தின் போது கோண உந்தம் மாறிலியாய் இருக்கிறது. பொருளின் மீது விசை செயல்படும் பொழுது என்ன நிகழ்கிறது? ஒரு வினாடியில் ஏற்படுகிற கோண உந்தத்தின் மாறுதல் திருக்கைக்குச் சமமாயிருக்கிறது என்பதைக் கணக்கீடுகள் நிரூபிக்கின்றன.

இதே விதி பொருள்களின் தொகுதிக்கும் சிரமம் எதுவுமின்றி நீட்டிக்கப்படலாம். தொகுதியில் அடங்கிய எல்லாப் பொருட்களின் கோண உந்தங்களில் ஏற்படுகிற மாறுதல்களின் கூட்டுத்தொகையானது, அப்பொருட்களின் மீது செயல்படும் திருக்கைகளின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கும் என்பது தெரிய வருகிறது. இதனுல், பொருட்களின் தொகுதி ஒன்றுக்குக் கீழ்வரும் கூற்று பொருந்துகிறது. ஒரு விஞடியில் ஏற்படுகிற உந்தத்தின் மொத்த திருப்புத்திறனின் மாறிதல், எல்லா விசைகளின் திருப்புத்திறன்களின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி

கயிற்றின் இரு நுனிகளிலும் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் கற்களில் ஒன்றை வீசி எறிந்தால் மற்ருெரு கல், நீட்டப்பட்ட கயிற்றின் நுனியில் அமைந்திருக்கும் முதல் கல்லைப் பின்தொடர்ந்து வேகமாகச் செல்லும். ஒரு கல் மற்றதைக் கடந்து செல்லும் இம்முன்னேக்கிய இயக்கம் சுழற்சியுடன் சேர்ந்து நடைபெறும். ஈர்ப்புப் புலத்தை நாம் மறந்து விடுவோம். கற்கள் விண்வெளியில் எறியப்பட்டிருப்பதாகத் தற்கோள் கொள்வோம்.

கற்களின் மீது செயற்படும் விசைகள் எண்மதிப்பில் சமமாகவும் கயிற்றின் வழியே ஒன்றையொன்று நோக்கியனவாகவும் இருக்கின்றன (ஏனெனில் இவை முறையே விணை, எதிர்விணை ஆகியவை முனைப்படுத்தும் விசைகளாகும்). ஆனுலும் எதேச்சையான ஒரு புள்ளிக்குச் சார்பாக இவ்விரு விசைகளின் நெம்புகோல் கரங்களும் சமமாயிருக்கும். சமமான நெம்புகோல் கரங்களும் சமமான எண்மதிப்புகளையும் கொண்டு எதிர்த் திசைகளில் செயல்படும் விசை

களும் எண்மதிப்பில் சமமான, எதிர்க் குறியீடுகளைக் கொண்ட திருக்கைகளை உண்டாக்குகின்றன.

திருக்கைகளின் தொகுபயன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. கோண உந்தத்தில் ஏற்படும் மாறுதலும் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் என்பது இதிலிருந்து தெரிய வருகிறது. அதாவது இத்தகைய தொகுதி ஒன்றின் கோண உந்தம் மாறிலியாய் இருக்கிறது.

கற்கள் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் கயிறு, நாம் மனதில் கற்பனை செய்து பார்ப்பதற்காகத்தான் தேவைப்பட்டது. செயலெதிர்ச் செயல் எத்தன்மையதாயினும் செயலெதிர்ச் செயற்படும் இரு பொருட்கள் அடங்கிய எந்தத் தொகுதிக்கும் கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி பொருந்துகிறது.

ஆம். ஆனால் சதைப் பொருட்களுக்கு மட்டுமல்லாது, சில பொருட்களைக் கொண்ட மூடிய தொகுதியைப் பற்றி ஆராயும் பொழுது பொருட்களுக்கிடையே செயல்படும் விசைகளின் திருப்புத்திறன்கள் சரியீடு செய்யப்படும்படியாக, தொகுதியில் அடங்கியிருக்கும் எல்லாப் பொருட்களுக்கிடையே செயல்படும் விசைகளை, வினை, எதிர்வினைகளின் விசைகளாகப் பிரிக்க முடியும்.

மொத்த கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி உலகப் பொதுவானது. சில பொருட்களைக் கொண்ட எந்த ஒரு மூடிய தொகுதிக்கும் இவ்விதி பொருந்துகிறது.

பொருள் அச்சை மையமாகக் கொண்டு சுழன்றால், அப்பொருளின் கோண உந்தம் $N = mvr$ என்னும் சூத்திரத்தால் தரப்படுகிறது. இங்கு m என்பது பொருளின் பொருண்மையையும் v அதன் வேகத்தையும், r என்பது அச்சிலிருந்து பொருள் அமைந்திருக்கும் தூரத்தையும் குறிக்கின்றன. வேகத்தை, ஒரு வினாடியில் சுற்றுகிற சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கையாகிய n ஆல் குறித்தால்,

$$v = 2\pi nr; \quad N = 2\pi mnr^2$$

ஆகும். அதாவது கோண உந்தமானது, அச்சிலிருந்து பொருள் அமைந்திருக்கும் தூரத்தின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது.

கனமான எடைகளை இரு கைகளிலும் எடுத்துக் கொண்டு சுழல் பீடத்தின் மீது அமர்ந்து கைகள் இரண்டையும் விரித்து வைத்திருக்கும் நம்மை மெதுவாகச் சுழலச் செய்யும்படியாக ஒருவரைக் கேட்டுக் கொள்ளவும். இப்பொழுது வேகமான இயக்கத்துடன் நம் கைகளை நெஞ்சுடன் அழுத்தவும். நாம் திடீரென வேகமாகச் சுழல ஆரம்பிக்கிறோம். கைகளை நீட்டி வைத்திருந்தால் சுழற்சியின் வேகம் குறைகிறது; கைகளை உள்ளடக்கி வைத்திருந்தால் சுழற்சியின் வேகம் அதிகரிக்கிறது. உராய்வின் காரணத்தால் பீடம் சுழற்சியை நிறுத்தும் வரையிலும் பல முறை நம் சுழற்சி வேகத்தை மாற்றிக் கொள்வதற்கு நேரம் இருந்திருக்கிறது.

ஏன் இவ்வாறு நிகழ்கிறது என்ற கேள்வி மனதில் எழலாம்.

சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை மாறாமலிருக்கும் பொழுது அச்சை நோக்கிச் சென்றால் கோண உந்தம் குறைகிறது. இத்தகைய குறையை ஈடு செய்வதற்காகச் சுழல் திசை வேகம் அதிகரிக்கிறது.

கழைக்கூத்தாடிகள் கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதியை நன்கு பயன்படுத்திக் கொள்கின்றனர். கழைக்கூத்தாடி விசும்பில் எவ்வாறு குட்டிக்கரணம் போடுகிறான் என்பதைப் பார்ப்போம். முதலில் அவன் மீள் தரை அல்லது சகாவுக்கு எதிராகத் தன்னை விலக்கிக் கொள்கிறான். இவ்வாறு செய்யும் பொழுது அவனுடைய உடல் முன்னோக்கி வளைகிறது. அவனுடைய எடை, விலக்கத்தின் விசையுடன் சேர்ந்து உடனடியாக திருக்கையை உண்டாக்குகிறது. விலக்கத்தின் விசை முன்னோக்கிய இயக்கம் ஒன்றை உண்டாக்குகிறது. ஆனால் திருக்கை சுழற்சி இயக்கத்தை ஏற்படுத்து

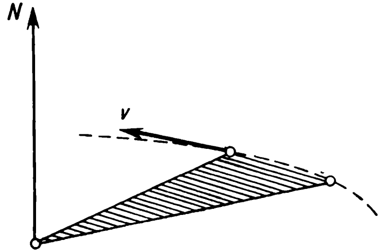
கிறது. ஆயினும், பார்ப்பவர்கள் கவனிக்க இயலாத அள வுக்கு இச்சுழற்சி குறைந்த வேகத்துடன் நடைபெறுகிறது. இப்பொழுது களைக்கூத்தாடி அவனுடைய முட்டுகளை வளைக் கிருன். களைக்கூத்தாடி சுழலச்சுக்கு அருகில் அவனுடைய உடல் முழுவதையும் கொண்டு சென்று சுழல் வேகத்தை மிகவும் அதிகப்படுத்தி வேகமாகத் தலைகீழாக விழுகிருன். கரணத்தின் இயந்திரவியல் நுட்பம் இதுவேயாகும்.

தொடர்ச்சியாக, மிக வேகமான திருப்பங்களைச் செய்து காட்டும் ஆடல் நங்கையின் அசைவுகளும் இத்தத்துவத்தையே அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கின்றன. சாதாரணமாக, ஆடல் நங்கை அவளது தோழி ஒருத்தியால் ஆரம்பக் கோண உந்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. இச்சமயத்தில் ஆடல் நங்கையின் உடல் வளைந்திருக்கிறது. இப்பொழுது குறைந்த வேகத்துடன் சுழற்சி ஆரம்பிக்கிறது. வசீகரமான, வேகமான அசைவுக்குப் பின்னர் அவள் நிமிர்ந்து நிற்கிருள். இப் பொழுது அவள் உடல் முழுவதும் சுழலச்சுக்கு அருகில் அமைந்திருக்கிறது. கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை வேகத்தை அதிகரிக்கிறது.

கோண உந்தம் ஒரு திசையுளியாக!

இதுவரையிலும் கோண உந்தத்தின் எண்மதிப்பைப் பற்றி மட்டுமே நாம் பார்த்திருக்கிறேம். ஆனல் உந்தத்தின் திருப்புத்திறன் திசையுளிக் கணியத்தின் குணதிசயங்களைக் கொண்டிருக்கிறது.

ஏதாவது மையத்துக்குச் சார்பாக நடைபெறும் புள் ளியின் சுழற்சியைக் கவனிக்கவும். புள்ளியின் நெருங்கிய இரு இருப்பிடங்கள் படம் 62ல் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. நாம் கவனித்துக் கொண்டிருக்கும் இவ்வியக்கம், இதன்



படம் 62

கோண உந்தத்தின் எண்மதிப்பினலும் இயக்கம் நடைபெறும் சமதளத்தாலும் குறிக்கப்படுகிறது. இயக்கத் தளம் படத்தில் கருப்பிட்டுக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதுவே மையத்திலிருந்து இயங்கும் புள்ளியை நோக்கி வரையப்பட்ட ஆரம் வீசிச் சென்ற பரப்பாகும்.

இச்சமதளத்தின் திசையைப் பற்றிய செய்தியையும் கோண உந்தத்தின் எண்மதிப்பு பற்றிய செய்தியையும் ஒன்று சேர்த்து ஒரே கணியமாகக் குறிப்பிடலாம். இயக்கம் நடைபெறும் சமதளத்திற்குச் செங்குத்தான திசையில் அமைந்திருக்கும், எண்மதிப்பில் கோண உந்தத்தின் தனி அளவுக்குச் சமமாயிருக்கும் கோண உந்தத் திசையுளி இந் நோக்கத்தை நிறைவேற்றுகிறது. ஆயினும் இவ்வரையறுப்பு முழுமை பெறவில்லை. சமதளத்தில் இயக்கம் நடைபெறும் திசையையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது. ஏனெனில் மையத்தைச் சுற்றிப் பொருள் வலஞ்சுழியாகவோ அல்லது இடஞ்சுழியாகவோ இயங்கலாம்.

கோண உந்தத் திசையுளிக்கு எதிரே நின்று கொண்டு அதை நாம் பார்க்கும் பொழுது புள்ளி இடஞ்சுழியாகச் சுழன்று கொண்டிருக்கும்படியாகக் கோண உந்தத் திசையுளியை வரைவது வழக்கமாயிருக்கிறது. அதன் கைப் பிடி சுழலும் திசையுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கும் அதே

முறையிலேயே கோண உந்தத் திசையுளியின் திசையும் சுழற்சித் திசையுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது.

ஆகவே நாம் கோண உந்தத் திசையுளியைத் தெரிந்திருப்பதிலிருந்தும் கோண உந்தத்தின் எண்மதிப்பு, விசும்பில் இயக்கம் நடைபெறும் சமதளத்தின் அமைப்பு, சுழல் மையத்துக்குச் சார்பாகச் சுழல் இயக்கத்தின் திசை ஆகியவற்றைப் பற்றி நாம் தீர்மானிக்க முடிகிறது.

ஒரே சமதளத்தில் இயக்கம் நடைபெற்று நெம்புகோல் கரமும் வேகமும் மாற்றமடைந்தால் கோண உந்தத்தின் திசை மாருமலிருக்கிறது. ஆனுல் அதன் எண்மதிப்பு மாற்றமடைகிறது. ஆனுல் எதேச்சையான இயக்கத்தின் போது கோண உந்தத் திசையுளியானது திசையிலும் எண்மதிப்பிலும் மாறுகிறது.

இப்படியாக, இயக்கச் சமதளத்தின் திசையையும், கோண உந்தத்தின் எண்மதிப்பையும் ஒரே கொள்கையாக வடித்தல், வார்த்தைகளேக் குறைப்பதற்காக மட்டுமே உதவுகிறது எனத் தோன்றலாம். ஆனுல் உண்மையில், ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட சமதளங்களில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருள்களின் தொகுதியைப் பற்றி ஆராயும் பொழுது, உந்தங்களின் திருக்கைகளேத் திசையுளிகளாக எண்ணிக் கூட்டும் பொழுது மட்டுமே கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதியை நாம் பெறுகிரேம்.

கோண உந்தத்துக்குத் திசையுளித் த்ன்மையைக் கொடுத்தது ஆழ்ந்த அறிவுடைய செயலாகும் என்பதை இச்சூழ்நிலே எடுத்துக் காட்டுகிறது.

கோண உந்தமானது எப்பொழுதும் ஒரு நிபந்தனேயுடன் தேர்வு செய்யப்பட்ட மையத்துக்குச் சார்பாகவே வரையறுக்கப்படுகிறது. பொதுவாக இக்கணியம் இப்புள்ளியின் தேர்வைச் சார்ந்திருக்கிறது என எண்ணுவது இயற்கையே! ஆயினும் நம் பரிசீலனேக்குட்பட்ட பொருட்களின்

தொகுதி, முழுவதுமாக ஒய்வு நிலேயில் இருந்தால் (இதன் மொத்த உந்தம் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது) அத் தொகுதியின் கோண உந்தத் திசையுளி ''மையத்தின்'' தேர்வைச் சார்ந்திருப்பதில்லே. இக்கோண உந்தம் பொருட் கள் அடங்கிய தொகுதியின் உட்கோண உந்தம் என அழைக்கப்படலாம்.

இயந்திரவியலின் அழிவின்மை விதிகளும், கோண உந் தத்தின் அழிவின்மை விதி மூன்ருவதாகவும், கடைசியாக வும் அமைகிறது. இருப்பினும், இம்மூன்று அழிவின்மை விதிகளேப் பற்றி நாம் கூறும் பொழுது இதைப் பற்றி திட் டமாக எதுவும் கூறவில்லே. உண்மையில், உந்தமும், கோண உந்தமும் திசையுளிக் கணியங்களாகும். திசையு ளிக் கணியத்தின் எண்மதிப்பு மட்டுமின்றி, அதன் திசை யும் மாறிலாய் இருக்கிறது என்பதை அக்கணியத்தின் அழி வின்மை விதி குறிப்பாகச் சொல்கிறது. இன்னெரு வித மாகக் கூறினுல், விசும்பில் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைந்திருக்கிற மூன்று திசைகளில், திசையுளியின் மூன்று ஆக்கக்கூறுகளும் மாறிலியாய் இருக்கின்றன. ஆற்றல் ஒரு ஸ்கேலார் (திசைப் பண்பற்ற) கணியமாகும். உந்தம் திசை யுளிக் கணியமாகும். கோண உந்தமும் திசையுளிக் கணி யமே! ஆகவே இயந்திரவியலில் மொத்தம் ஏழு அழிவின்மை விதிகள் இருக்கின்றன எனக் கூறுவது மிகச் சரியானதே!

பம்பரங்கள்

தட்டின் மேற்பகுதி மேல் நோக்கியிருக்கும்படியாக மெல்லிய கட்டையின் மேல் அத்தட்டைச் சமநிலேயில் நிறுத்த முயற்சிக்கவும். நம் முயற்சி எவ்விதப் பலனேயும் கொடுப்பதில்லே. ஆயினும் சீன வித்தைக்காரர்கள் பலர் இந்நுணுக்கத்தை உபயோகப்படுத்துகின்றனர். ஒரே சம

யத்தில் சில கட்டைகளைப் பயன்படுத்தி இதைச் சாதிப்பதில் அவர்கள் வெற்றி கண்டுள்ளனர். கட்டைகளை நிலைக்குத்தாக வைப்பதற்கு அவர்கள் முயற்சி செய்யவில்லை. கிடைமட்டத்திலிருந்து சாய்வாக வைக்கப்பட்டுள்ள கட்டைகளின் நுனியால் சற்றே தாங்கப்பட்டிருக்கிற தட்டுகள் கீழே விழாமல் நடைமுறையில் காற்றில் மிதந்து கொண்டிருப்பது போன்றே காட்சி ஆச்சிரியமாகத் தோன்றுகிறது.

வித்தைக்காரர்கள் வேலையில் ஈடுபட்டிருக்கும் பொழுது மிக அருகாமையில் சென்று பார்க்கும் சந்தர்ப்பம் கிடைத்தால் கீழ்வரும் முக்கியமான விவரங்களைக் கவனிக்கவும். தட்டுகள் அவற்றின் சமதளப் பரப்பில் மிக வேகமாகச் சுற்றும்படியாக அவன் செய்கிறான்.

தண்டாயுதம், வளையங்கள் அல்லது தொப்பிகள், இவற்றின் உதவியால் வித்தையைச் செய்து காட்டுகிறவன் இவற்றில் தற்சுழற்சியை உண்டாக்குகிறான். இதற்குப் பின்னர் தான் பொருட்கள் யாவும் ஆரம்பத்தில் விடப்பட்ட அதே நிலையில் அவனுடைய கைக்குத் திரும்புகின்றன.

சுழற்சி உண்டாக்குகிற இச்சமநிலையின் வினைமுதல் என்ன? இது கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதியுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது. ஏனெனில், சுழலச்சின் திசை மாறும் பொழுது கோண உந்தத் திசையுளியும் திசையை மாற்றுகிறது. திசைவேகத்தின் திசையை மாற்றுவதற்கு விசை தேவைப்படுவது போலவே சுழற்சியின் திசையை மாற்றுவதற்குத் திருக்கை அவசியமாயிருக்கிறது. பொருள் வேகமாகச் சுழன்றால் சுழற்சியின் திசையை மாற்றுவதற்குத் தேவையான இத்திருக்கையும் பெரியதாயிருக்க வேண்டியிருக்கிறது.

வேகமாகச் சுழலும் பொருள் அதன் சுழலச்சின் திசையை மாற்றாமல் பாதுகாக்கும் தன்மையை, ஏற்கனவே விவரிக்

கப்பட்ட சில உதாரணங்களுடன் கூடிய பல நிகழ்ச்சிக ளில் நாம் காண முடியும். சுழன்று கொண்டிருக்கும் பம் பரம் அதன் சுழலச்சு சாய்வாக இருந்தபோதிலும் கீழே சாய்வதில்லை.

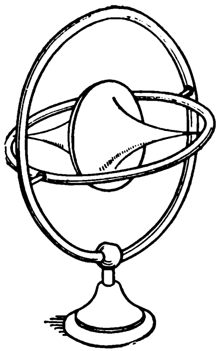
சுழன்று கொண்டிருக்கும் பம்பரத்தை நம் கையை உப யோகித்து கீழே சாய்க்க முயற்சிப்போம். இச்செயல் அவ் வளவு சுலபமானதல்ல என்பதை நாம் உணர முடிகிறது.

சுழன்று கொண்டிருக்கும் பொருளின் உறுதிநிலை நுணுக் கம் பீரங்கிப் படையில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. புரிகுழல் வடிவில் மரையமைக்கப்பட்ட துப்பாக்கிகளைப் பற்றி அனைவரும் அநேகமாகக் கேள்விப்பட்டிருக்கலாம். வெளிச் செலுத்தப்படுகிற எறி பொருள் அதன் அச்சை மையமாகக் கொண்டு சுழல்கிறது. இதனால் காற்றின் வழியே செல் லும் பொழுது இதன் இயக்கம் தடைப்படுவதில்லை. சுழல் துப்பாக்கியானது, சாதாரண துப்பாக்கியைக் காட்டிலும் ஒப் பிட முடியாத அளவுக்கு அதிகக் குறிபார்க்கும் தன்மை யையும் குண்டை நெடுந்தூரம் செலுத்தும் தன்மையைக் கொண்டிருக்கிறது.

ஒவ்வொரு சமயத்திலும் ஆகாய விமானம் அல்லது கப் பலின் இருப்பிடத்துக்குச் சார்பாக, உண்மையான பூமி யின் நிலைக்குத்துக் கோட்டின் அமைவிடத்தைப் பற்றி அறிந் திருக்க வேண்டியது விமான ஓட்டி அல்லது கப்பல் மாலு மியின் முக்கியமான பொறுப்பாகும். இந்நோக்கத்திற்காகக் குண்டு நூலைப் பயன்படுத்துதல் பொறுத்தமான செயல் அல்ல. ஏனெனில் முடுக்கப்பட்ட இயக்கத்தின் போது இந் நூல் விலக்கப்படுகிறது. பிரத்யேக அமைப்புடைய வேக மாகச் சுழலும் பம்பரம் இந்நோக்கத்துக்காகப் பயன்படுத் தப்படுகிறது. இது ஜைரோவெர்டிகல் என அழைக்கப்படுகி றது. ஜைரோவெர்டிகலின் சுழலச்சு பூமியின் நிலைக்குத்துக் கோட்டின் மீது இருக்குமாறு நாம் செய்தால், விண்வெளி

யில் ஆகாய விமானம் அதன் திசையை எப்படி மாற்றிக்கொண்டாலும் ஜைரோவெர்டிகலின் நிலை மாருமலிருக்கிறது.

ஆனல் இதில் பம்பரம் எந்த ஆதாரத்தின் மேல் நிற்கிறது? ஆகாய விமானத்துடன் சேர்ந்து சுற்றுகிற ஆதாரத்தின் மேல் இது அமைக்கப்பட்டிருந்தால், இது அதன் சுழலச்சின் திசையை மாற்ருதவாறு எப்படிப் பாதுகாக்கமுடியும்?



படம் 63

எல்லாக் கோணங்களிலும் விசை மாற்றக்கூடிய தொங்கள் நிலை போன்ற (படம் 63) உபகரணமே இதன் ஆதாரமாகப் பயன்படுகிறது. சுழல்தானங்களில் சிறும உராய்வைக்கொண்டிருக்கும் இக்கருவியில் பம்பரம் காற்றில் மிதப்பதுபோன்று செயல்படுகிறது.

சுழலும் பம்பரங்களின் உதவியால், ஆகாய விமானங்களும் நீர்மூழ்கிக் குண்டுகளும், குறிப்பிட்ட பாதையில் தாளுகவே இயங்கிச் செல்லுமாறு செய்ய முடிகிறது. பம்பரத்தின் அச்சின் திசையிலிருந்தும் நீர்மூழ்கிக் குண்டின் அச்சு விலகியிருப்பதைக் கவனிப்பதன் மூலமாக இது செய்யப்படுகிறது.

சுழல் காந்தப் பெட்டி போன்ற மிக முக்கியமான கருவிகள், சுழலும் பம்பரத்தின் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கின்றன. காரியாலிஸ் விசை, உராய்வு ஆகியவற்றின் செயற்பாட்டுக்குட்படுத்தப்பட்ட பம்பரத்தின் அச்சு, முடிவாகப் பூமியின் அச்சுக்கு இணையாக, வடக்கு நோக்கி அமைந்திருக்கிறது என்பதை நாம் நிரூபிக்க முடியும்.

கடல் பயணத்தின் போது சுழல் காந்தப் பெட்டிகள் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அதி கனமான சுழலி யுடன் நிமிடத்துக்கு 25000 சுற்றுகள் சுற்றும் இயந்திரமும் சேர்ந்த அமைப்பே இவற்றின் முக்கிய அங்கமாகும்.

குறிப்பாகக் கப்பலின் அசைவினுல் உண்டாகும் பல தரப்பட்ட இடைஞ்சல்களைத் தவிர்ப்பதில் சில இன்னல் களுக்குள்ளாக்கப்பட்ட போதிலும் சுழல் காந்தப் பெட்டி கள் காந்தப் பெட்டிகளைக் காட்டிலும் சிறந்தவையாகும். கப்பலில் ஏற்றப்பட்டிருக்கும் மின் சாதனங்கள் மற்றும் இரும்புச் சாமான்களினுல் அளவீடுகளில் ஏற்படும் துல்லி யக் குறைவே, காந்தப் பெட்டியின் குறைபாடாயிருக்கி றது.

நெகிழும் எந்திரத் தண்டு

அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த எந்திரங்களாகிய நவீன டர்பைன்களின் முக்கியமான பாகங்கள் அவற்றின் எந்திரத் தண்டுகளேயாகும். 10 மீட்டர் நீளமும், 0,5 மீட்டர் விட் டமும் உடையனவாய் இத்தண்டுகளைத் தயாரிப்பது தொழில் நுணுக்கவியலில் சிக்கலான பிணக்காகும். சக்தி வாய்ந்த டர்பைனின் எந்திரத் தண்டு, கிட்டத்தட்ட 200 டன் எடையைத் தாங்கவல்லதாகவும் நிமிடத்துக்கு 3000 சுற் றுக்கள் என்னும் வேகத்துடன் சுழலும் தன்மையுடையதா கவும் இருக்கிறது.

மேலோட்டமாகப் பார்க்கையில் இத்தகைய எந்திரத் தண்டு மிகக் கடினமானதாகவும் உறுதியானதாகவும் இருக்க வேண்டும் எனத் தோன்றலாம். ஆயினும் இத்தண்டு இவ் வாறு இருப்பதில்லை. நிமிடத்தில் பத்தாயிரக்கணக்கான தட வைகள் சுற்றும் பொழுது விறைப்பாக இணைக்கப்பட்ட, வளைந்து கொடுக்கும் இயல்பில்லாத எந்திரத் தண்டு எவ்

வளவு பலமானதாயிருப்பினும் தவிர்க்க முடியாமல் உடைய நேரிடும்.

விறைப்பான எந்திரத் தண்டுகள் ஏன் இதற்கு ஏற்ற வையாய் இல்லை என்பதை நாமனைவரும் எளிதில் புரிந்து கொள்ள முடிகிறது. பொறியாளர்கள் எவ்வளவு துல்லியத் துடன் செயல்பட்டாலுங்கூட டர்பைன் சக்கரத்தில் ஏற் படும் குறைந்த பட்ச சிறு சமச்சீரின்மையை அவர்களால் தவிர்க்க முடியாது. இத்தகைய சக்கரம் சுழலும் பொழுது மிக அதிகமான மையவிலக்கு விசைகள் தோன்றுகின்றன. இவ்விசைகளின் எண்மதிப்புக்கள் சுழல் வேகத்தின் இரு மடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்பதை ஞாபகப்படுத் திக் கொள்ளவும். இவை சரியாகச் சரியீடு செய்யப்படவில்லை யெனில், எந்திரத் தண்டு தாங்குகோளங்களுக்கு எதிராக உராய ஆரம்பித்து (சரியீடு செய்யப்படாத மையவிலக்கு விசைகள் எந்திரத்துடன் சேர்ந்து சுற்றுகின்றன) அவற்றை நொறுக்கி டர்பைனையும் கெடுத்து விடுகிறது.

ஒரு காலத்தில் இவ்வியற்பாடு, டர்பைனின் சுழல் வேகத்தை அதிகப்படுத்தும் முயற்சியில் வெற்றி பெற முடி யாமல் தடையைத் தோற்றுவித்தது. சென்ற நூற்றாண் டின் இறுதியில்தான் இச்சூழ்நிலையிலிருந்தும் நம்மை விடு வித்துக் கொள்ளும் வழி கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. டர்பைனின் அமைப்பு பற்றிய தொழில் நுணுக்கவியலில் நெகிழும் எந் திரத் தண்டு அறிமுகப்படுத்தப்பட்டது.

இம்முக்கியமான கண்டுபிடிப்பில் அடங்கியிருக்கும் கருத்தைப் புரிந்து கொள்ள வேண்டுமானால் நாம் மையவி லக்கு விசைகளின் மொத்த விளைவைக் கணக்கிட வேண் டும். ஆனால் இவ்விசைகளை எப்படிக் கூட்டுவது? என்ற கேள்வி எழுகிறது. இம்மையவிலக்கு விசைகளின் தொகு பயன் எந்திரத் தண்டின் ஈர்ப்பு மையம் வழியே செயல் படுகிறது. மேலும் இவ்விசைகளின் தொகுபயன், டர்பைன்

சக்கரத்தின் பொருண்மை முழுவதையும் ஈர்ப்பு மையத்தில் ஒரு முனைப்படுத்துவதால் ஏற்படும் அதே எண்மதிப்பை யே கொண்டிருக்கிறது.

சக்கரத்தில் அமைந்துள்ள சிறு சமச்சீரின்மையால், சக்கரத்தின் ஈர்ப்பு மையத்திலிருந்து அதன் அச்சு அமைந்திருக்கும் தூரத்தைப் பூச்சியம் என எடுத்துக் கொள்ளாமல், a எனக் குறிப்போம். சுழற்சியின் போது மையவிலக்கு விசைகள் எந்திரத் தண்டின் மீது செயல்பட்டு எந்திரத் தண்டு வளைகிறது. எந்திரத் தண்டின் இடப்பெயர்ச்சியை l எனக் குறித்துக் கொள்ளவும். இதன் எண்மதிப்பை நாம் இப்பொழுது கணக்கிடுவோம். மையவிலக்கு விசைக்கான சூத்திரத்தை நாம் அறிவோம். இவ்விசை, ஈர்ப்பு மையத்திலிருந்து அச்சு அமைந்திருக்கும் தூரத்திற்கு, அதாவது, இங்கு $(a+l)$ க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. அதாவது $4\pi^2n^2 M (a+l)$க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இங்கு n என்பது ஒரு நிமிடத்தில் சுற்றும் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கையாகவும், M என்பது சுழலும் பகுதிகளின் பொருண்மையாகவும் இருக்கின்றன. மையவிலக்கு விசையானது, எந்திரத் தண்டின் இடப்பெயர்ச்சியின் எண்மதிப்புக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் மீள் விசையால் சரியீடு செய்யப்படுகிறது. இம்மீள் விசை kl —க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இங்கு k என்னும் கெழு எந்திரத் தண்டின் விறைப்புத் தன்மையைக் குறிக்கிறது. ஆகவே

$$kl = 4\pi^2n^2M(a+l),$$

$$l = \frac{a}{k/4\pi^2n^2M - 1}$$

நெகிழும் எந்திரத் தண்டு வேகமாகச் சுழலும் பொழுது எவ்விதச் சிக்கலையும் ஏற்படுத்தாது என்பது இச்சூத்திரத்தின் மூலம் தெரிய வருகிறது. n மிகப் பெரிய எண்ணை

இருப்பினும் (எல்லையில்லாத பெரிய எண்ணுக இருப்பினும்) எந்திரத் தண்டின் வளைவாகிய l வரம்பு மீறி அதிகமாகவ தில்லை. நம் கடைசிச் சூத்திரத்தில் காணப்படுகிற $k/4\pi^2n^2M$ என்னும் கணியத்தின் மதிப்பு பூச்சியத்தை நெருங்குகிறது. ஆகவே எந்திரத் தண்டின் வளைவாகிய l எண்மதிப்பில் சமச் சீரின்மைக்குச் சமமாகவும், அதற்கு எதிரான குறியீட் டையும் கொண்டிருக்கிறது.

வேகமான சுழற்சியின் போது சக்கரத்தின் சமச்சீரின் மையால் எந்திரத் தண்டு நொறுங்குவதற்குப் பதிலாக இச் சமச்சீரின்மையின் விளைவைச் சமப்படுத்தும்படியாக இவ் வெந்திரத் தண்டு வளைந்து கொடுக்கிறது என்பதை இக்க ணக்கீட்டின் முடிவுகள் குறிப்பால் தெரிவிக்கின்றன. வளைந்து கொடுக்கும் எந்திரத் தண்டு சுழலும் பாகங்களின் மைய மாக அமைந்திருக்கிறது. இதன் வடிவ மாற்றத்தால் ஈர்ப்பு மையம் சுழலச்சுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு மைய விலக்கு விசையின் செயற்பாடு முழுவதுமாகச் சமப்படுத்தப் படுகிறது.

எந்திரத் தண்டின் நெகிழும் தன்மை எவ்வகையிலும் அதன் குறைபாடாகாது. இதற்கு மாருக, இது சமநிலைக்கு அவசியமான நிபந்தனையாயிருக்கிறது. உண்மையில், எந் திரத் தண்டு நொறுங்காமல், a என்னும் அளவுக்கு வளைந்து கொடுப்பது சமநிலைக்கு அவசியமானதாகும்.

விவாதத்தில் பிழை இருப்பதை மிகக் கவனமாக வாசிப் பவர்கள் கவனித்திருக்கலாம். மையவிலக்கு விசை மற்றும் மீள் விசைகளை மட்டுமே மனதில் கொண்டிருக்கும் பொழுது வேகமான சுழற்சியின் போது மையப்படுத்தப்படும் எந் திரத் தண்டை சமநிலையிலிருந்து நாம் இடப்பெயர்ச்சி செய் தால் இச்சமநிலை உறுதியில்லாததாகும் என்பதை நாம் எளி தில் தெரிந்து கொள்ளலாம். இருப்பினும் காரியாலிஸ் விசை தான் இச்சூழ்நிலையிலிருந்து நம்மைப் பாதுகாத்து இச்சம

நிலையை உறுதியுடையதாக்குகிறது என்பது தெரிய வருகிறது.

டர்பைன் மெதுவாகச் சுழல ஆரம்பிக்கிறது. ஆரம்பத்தில் n மிகச் சிறிய எண்ணுயிருக்கும் பொழுது $k/4\pi^2n^2M$ என்னும் பின்னம் அதிக மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. இது ஒன்றைவிடப் பெரியதாக இருக்கும் வரையிலும் (n அதிகரித்துக் கொண்டிருக்கையில்) எந்திரத் தண்டின் விலக்கத்தின் மதிப்பு சக்கரத்தின் ஈர்ப்பு மையத்தின் ஆரம்ப இடப்பெயர்ச்சியின் குறியீட்டையே கொண்டிருக்கும். ஆகவே இயக்கத்தின் தொடக்கத்தில் வளைந்து கொடுக்கும் தன்மையுடைய எந்திரத் தண்டு சக்கரத்தின் மையத்தில் அமைந்திருப்பதில்லை. ஆனல் இதற்கு மாருக, அதன் வடிவ மாற்றத்தால் ஈர்ப்பு மையத்தின் மொத்த இடப்பெயர்ச்சியை அதிகப்படுத்தி அதனுல் மையவிலக்கு விசையையும் அதிகப்படுத்துகிறது. அதிகரிக்கும் அளவைப் பொறுத்து ($k/4\pi^2n^2M \gg 1$) என்னும் நிபந்தனை நிறைவேற்றப்படும் பொழுது) இடப்பெயர்ச்சி அதிகரித்து முடிவில் மாறுநிலை ஏற்படும் தருணத்தை அடைகிறது. $k/4\pi^2n^2M = 1$ ஆக இருக்கும் பொழுது இடப்பெயர்ச்சியாகிய l க்கான சூத்திரத்தின் தொகுதி பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆகவே எந்திரத் தண்டின் விலக்கம் கொள்கை ரீதியாக எல்லையின்றி அதிகப்படுகிறது. இத்தகைய சுழல் வேகத்தில் எந்திரத் தண்டு நொறுங்கக் கூடும். டர்பைனை ஓட்டத் தொடங்கும் பொழுது இத்தருணத்தை மிக வேகமாகக் கடந்து செல்ல வேண்டும். ஒரு நிமிடத்தில் நிகழும் மாறுநிலை சுழற்சி எண்ணை வேகமாகக் கடந்து, மேலே விவரிக்கப்பட்ட தானுக மையப்படுத்தும் இயற்பாடு ஆரம்பமாகிற அதிக வேகத்துக்கு டர்பைனைக் கொண்டு செல்ல வேண்டியது அவசியமாகும்.

ஆனல் இந்த மாறுநிலைத் தருணம் என்பது என்ன?இதற்

கான நிபந்தனையைக் கீழ்வரும் வடிவத்தில் நாம் மாற்றி எழுதுகிறோம்.

$$\frac{4\pi^2 M}{k}=\frac{1}{n^2}$$

அல்லது, $n=\frac{1}{T}$ என்னும் சமன்பாட்டின் உதவியால் ஒரு நிமிடத்தில் சுழலும் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கையைச் சுழல் நேரத்தின் சார்பாக அறிவித்து இருமடி மூலம் எடுத்து கீழ்வருமாறு மாற்றி எழுதுகிறோம்:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}\,.$$

சமன்பாட்டின் வலக்கைப் பக்கதில் எவ்வகையான கணியத்தை நாம் கொண்டிருக்கிறோம்? இச்சூத்திரம் நமக்கு முன்னரே பழக்கமானதாகத் தோன்றுகிறது. முந்திய பக்கங்களைப் புரட்டுவோமாயின், எந்திரத் தண்டு தாங்கியிருக்கும் சக்கரம் ஏற்படுத்துகிற சுய அதிர்வின் அலைவு நேரமே நம் வலக்கைப் பக்கம் அமைந்திருக்கிறது என்பது நமக்குத் தெரிய வருகிறது. M என்னும் பொருண்மையுடைய டர்பைன் சக்கரம், k என்னும் விறைப்புக் கெழுவைக் கொண்ட எந்திரத் தண்டின் மேல், தானாக அதிர்வு ஏற்படுத்தும்படியாக, எந்திரத் தண்டின் ஒரு பக்கமாக விலக்கப்பட்டால் அது $T=2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$ என்னும் அலைவு நேரத்துடன் அதிர்வுறும்.

டர்பைன் சக்கரத்தின் சுழற்சி அலைவு நேரமானது, டர்பைன், எந்திரத் தண்டு இவைகளாலாகிய தொகுதியின் சுய அதிர்வின் அலைவு நேரத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் பொழுதுதான் அபாயகரமான தருணம் தோன்றுகிறது. ஒத்திசைவின் இயற்பாடே ஒரு நிமிடத்தில் சுழல்கிற மாறுநிலைச் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை இருத்தலுக்குக் காரணமாக அமைகிறது.

ஏழு

ஈர்ப்பு

பூமியை தாங்கிக் கொண்டிருப்பது எது?

வெகு காலத்துக்கு முன்னர் இக்கேள்விக்கு மக்கள் எளிய பதிலைத் தந்தார்கள். மூன்று திமிங்கலங்கள் என்பதுவே அப்பதில். உண்மை, ஆனால் திமிங்கலங்களைத் தாங்கிக் கொண்டிருப்பது எது? ஆயினும் கபடமற்ற நம் மூதாதை யர்களின் மனதில் இக்கேள்வி எழவில்லை.

கோள்களின் இயக்கங்களுக்கான வினைமுதல்களைப் பற்றிய கேள்விகளுக்குப் பதிலளிப்பதற்கு வெகுகாலத்துக்கு முன்னரே, பூமியின் இயக்கம் சார்ந்த தன்மைகள், பூமியின் வடிவம், மற்றும் சூரியனைச் சுற்றி வரும் கோள்களின் இயக்கத்தில் அமைந்திருக்கும் பல முறைமைகள் பற்றிய சரியான கருத்துக்கள் எழுந்தன.

உண்மையில் பூமியையும் மற்ற கோள்களையும் தாங்கிக் கொண்டிருப்பது எது? அவை சூரியனை விட்டு வெகு தூரத்துக்குப் பறந்து செல்லாமல் ஏன் சூரியனைச் சுற்றி குறிப்பிட்ட பாதைகளில் இயங்குகின்றன?

நீண்ட நாட்களாக இக்கேள்விக்குப் பதில் ஏதும் கிடைக்கவில்லை. உலகம் பற்றிய கோபர்னிகசின் அமைப்புக்கு எதிராகப் போராடிக் கொண்டிருந்த கிறித்துவ மத குருமார்கள் பூமியின் இயக்கம் பற்றிய உண்மைகளை மறுத்

துக் கூறுவதற்கு மேற்கூறிய கேள்விகளைப் பயன்படுத்திக் கொண்டனர்.

இக்கேள்விக்கான உண்மையான பதில்களைக் கண்டறிந்த ஆங்கிலேய அறிவியல் அறிஞர் ஐசக் நியூட்டனுக்கு (1643—1727) நாமனைவரும் கடமைப்பட்டிருக்கிறோம்.

பலத்த காற்றினால் ஆப்பிள் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக எவ்வாறு கீழே விழுகிறது என்பதை, பழத் தோட்டத்தில் ஆப்பிள் மரத்துக்கு அடியில் அமர்ந்து தீவிர யோசனையுடன் பார்த்துக் கொண்டிருந்த நியூட்டன் உலகில் எல்லாப் பொருட்களுக்கிடையேயும் ஈர்ப்பு விசை செயல்படுகிறது என்ற முடிவுக்கு வந்தார் என்பதை நாம் அனைவரும் நன்கறிந்த வரலாற்றுக் கதை உறுதிப்படுத்துகிறது.

பூமியை நோக்கிய பொருட்களின் சுழ வீழ்ச்சி, சூரியன், சந்திரன் முதலானவற்றின் தோற்றவியலான இயக்கங்கள், கடல் மட்டத்தில் ஏற்றம், உள்ளிழுப்பு போன்ற இன்னும் பல நானாவிதமான இயற்பாடுகள் யாவும் அனைத்து ஈர்ப்பு விதி (law of universal gravitation) என்னும் இயற்கையின் ஒரே விதியின் வெளிப்படையான காட்சிகளாகும் என்பது நியூட்டனின் கண்டுபிடிப்பிலிருந்து தெளிவாயிற்று.

மண் கூலங்கள், பட்டாணி, கற்கள் அல்லது கோளங்கள், இவற்றில் எதுவாயினும் உலகத்தில் உள்ள எல்லாப் பொருட்களுக்கிடையேயும் பரஸ்பர ஈர்ப்பு விசை செயல்படுகிறது என்பதை இவ்விதி உறுதியாகக் கூறுகிறது.

முதல் நோக்கில், இவ்விதி தவறானதாகத் தோன்றுகிறது. நம்மைச் சூழ்ந்துள்ள பொருட்கள் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கின்றன என்பதை நாம் என்ன காரணத்தாலோ கவனிக்காது இருந்து விட்டோம். எல்லாப் பொருட்களையும் பூமி தன்னை நோக்கி இழுக்கிறது. இதைப் பற்றி யாருக்கும் எந்தச் சந்தேகமும் இருக்காது. ஆனால் ஒரு வேளை இது

பூமியின் தனித்தன்மையாக இருக்கலாம் என எண்ண வாய்ப்புண்டு. இது உண்மையல்ல. எதேச்சையான இரு பொருட்களுக்கிடையே ஈர்ப்பு மிகக் குறைவாயிருக்கிறது. இந்த ஈர்ப்பு ஏன் நம் கவனத்தைக் கவரவில்லை என்பதற்கு இது ஒன்றே காரணமாகும். ஆயினும் பிரத்யேகச் சோதனைகளின் மூலம் இதையும் கண்டுபிடிக்க முடியும். இதைப் பற்றிய அதிக விவரங்களைப் பின்னர் பார்ப்போம்.

சூரிய குடும்பத்தின் உறுதி நிலை, கோளங்கள் மற்றும் வானத்தில் இருக்கும் ஏனைய பொருட்களின் இயக்கம் ஆகியவற்றை உலகப் பொது ஈர்ப்பினால் மட்டுமே விளக்கிக் கூற முடிகிறது.

புவியீர்ப்பு விசையினால்தான் சந்திரன் அதன் சுற்றுப் பாதையிலும், சூரிய ஈர்ப்பு விசையினால்தான் பூமி அதன் சுற்றுப் பாதையிலும் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

கயிற்றில் கட்டப்பட்டு சுற்றப்படுகிற கல்லின் வட்ட இயக்கத்தைப் போலவே வானத்துப் பொருட்களின் வட்ட இயக்கங்களும் நடைபெறுகின்றன.

வானத்துப் பொருட்களைத் திட்டமான பாதையில் இயங்குமாறு கட்டாயப்படுத்தும், கண்ணுக்குப் புலப்படாத கயிறுகளாய் அனைத்து ஈர்ப்பு விசைகள் செயல்படுகின்றன.

அனைத்து ஈர்ப்பு விசைகள் செயல்படுவது பற்றிய உறுதிப்பாடு மட்டும், உண்மையில் அதிகமான அர்த்தத்தைத் தருவதில்லை. நியூட்டன் ஈர்ப்பு விதியைக் கண்டுபிடித்துப் பின்னர், இவ்விசைகள் எவற்றையெல்லாம் சார்ந்திருக்கின்றன என்பதையும் நிரூபித்தார்.

அனைத்து ஈர்ப்பு விதி

''சந்திரனின் முடுக்கம் ஆப்பிளின் முடுக்கத்திலிருந்தும் எவ்வாறு வேறுபட்டிருக்கிறது'' என்பதுவே நியூட்டன் தனக்குள்ளேயே கேட்டுக் கொண்ட முதல் கேள்வியாகும்.

வேறுவிதமாகக் கூறினல், பூமி மேற்பரப்பில், அதாவது அதன் மையத்திலிருந்து r என்னும் தூரத்தில் உண்டாக்கும் முடுக்கமாகிய g க்கும் பூமியிலிருந்து சந்திரன் அமைந்திருக்கும் R என்னும் தூரத்தில் பூமி உண்டாக்கும் முடுக்கத்துக்குமிடையேயான வித்தியாசம் என்ன?

$\frac{v^2}{R}$ என்னும் சூத்திரத்தால் பெறப்படும் இம்முடுக்கத்தைக் கணக்கிட வேண்டுமாளுல், சந்திரனின் இயக்க வேகம், பூமியிலிருந்து அது அமைந்திருக்கும் தூரம் ஆகியவற்றைத் தெரிய வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. இவ்விரு கணியங்களின் மதிப்புகளையும் நியூட்டன் அறிந்திருந்தார். சந்திரனின் முடுக்கம் ஏறக்குறைய 0.27 செ.மீ/விஞடி^{2} க்குச் சமமாயிருப்பதாகக் கணக்கிடப்பட்டது. இது 980 செ.மீ/விஞடி^{2} மதிப்புடைய gஐக் காட்டிலும் கிட்டத்தட்ட 3600 மடங்குகள் சிறியதாகும்.

ஆகவே பூமியின் மையத்திலிருந்து வெளிநோக்கிச் செல்லும் பொழுது பூமி உண்டாக்கும் முடுக்கம் குறைகிறது. இது குறைவடையும் வேகத்தைக் கணக்கிடுவோம். பூமியிலிருந்து சந்திரன் அமைந்திருக்கும் தூரம் பூமியின் அறுபது ஆரத்துக்குச் சமமானதாயிருக்கிறது. ஆனல் 3600, 60ன் இருமடியாகும். நாம் தூரத்தை 60 மடங்கு அதிகப்படுத்துவதனல் முடுக்கத்தை 60^2 மடங்கு குறைக்கிருேம்.

முடுக்கமும் அதனல் ஈர்ப்பு விசையும் தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கின்றன என்ற முடிவுக்கு நியூட்டன் வந்தார். மேலும் ஈர்ப்புப் புலத்தில் பொருளின் மீது செயல்படும் விசை, அதன் பொருண்மைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் என்பதை நாம் ஏற்கனவே தெரிந்திருக்கிருேம். ஆகவே இரண்டாவது பொருளின் பொருண்மைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் விசையுடன் முதல் பொருள் இரண்டாவது பொருளை ஈர்க்கிறது. முதல் பொருளின் பொருண்மைக்கு

நேர்விகிதத்திலிருக்கும் விசையுடன் இரண்டாவது பொருள் முதல் பொருளை ஈர்க்கிறது.

வினை, எதிர்வினை ஆகியவற்றின் விசைகளாகிய, சர்வசம மான விசைகளைப் பற்றி நாம் பரிசீலித்துக் கொண்டிருக் கிறோம். ஆகவே பரஸ்பர ஈர்ப்பு விசையானது, முதல் பொருளின் பொருண்மைக்கும் இரண்டாவது பொருளின் பொருண்மைக்கும் நேர்விகிதத்திலிருக்க வேண்டும், அதாவது வேறுவிதமாகக் கூறினால், இது இவ்விரு பொருண் மைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்க வேண்டும்.

$$\text{ஆகவே,}\quad F=G\frac{Mm}{r^2}$$

இதுவே சரியாக அனைத்து ஈர்ப்பு விதியாகும். எப்படிப் பட்ட இரு பொருட்களுக்கும் இவ்விதி செல்லுபடியாகும் என நியூட்டன் தற்கோள் கொண்டார்.

தைரியமாக மேற்கொள்ளப்பட்ட இத்தற்கோள் இப் பொழுது முழுமையாக நிரூபிக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆகவே இரு பொருட்களின் ஈர்ப்பு விசை, அவற்றின் பொருண் மைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர்விகிதத்திலும், அவற் றிற்கிடையேயான தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்தி லும் இருக்கிறது.

சூத்திரத்தில் காணப்படும் G என்பது என்ன? இது விகிதக் கெழுவாகும். நாம் ஏற்கனவே பல முறை செய் திருப்பது போல இதன் மதிப்பும் ஒன்றுக்குச் சமமாயிருப் பதாக எடுத்துக் கொள்ளலாமா? இல்லை. நாம் இங்கு இவ் வாறு செய்ய மாட்டோம். நாம் பொருண்மையைக் கிராமி லும், தூரத்தைச் சென்டிமீட்டரிலும், விசையை டைனிலும் அளக்கச் சமமதிக்கிறோம். G ன் மதிப்பு, ஒன்றுக்கொன்று ஒரு செ.மீ தூரத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு கிராம் பொருண்மையுடைய இரு பொருள்களுக்கிடையே செயல்

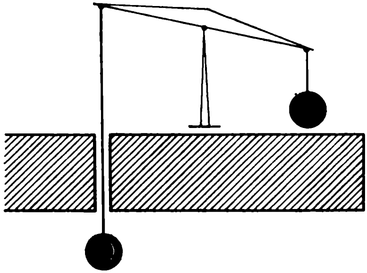
படும் ஈர்ப்பு விசைக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவ்விசையின் மதிப்பு எதுவாகவும் இருக்கலாம். குறிப்பாக ஒரு டைனுக்குச் சமமாயிருக்கிறது என நாம் எடுத்துக் கொள்ள மாட்டோம். n என்னும் கெழுவை அளத்தல் வேண்டும்.

G—ன் மதிப்பை வரையறுப்பதற்கு உண்மையில் 1 கிராம் எடைகளுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசைகளை நாம் அளக்க வேண்டியது இல்லை. பொருண்மை அதிகமான பொருட்களைக் கொண்டு அளவீடு செய்வதில்தான் நாம் ஆர்வமாயிருக்கிறோம். அப்பொழுதுதான் விசையும் அதிகமாயிருக்கும்.

நாம் இரு பொருட்களின் பொருண்மைகளைத் தீர்மானித்து, பின்னர் அவைகளுக்கிடையேயான தூரத்தையும் கண்டறிந்து, அவைகளுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையையும் அளந்தால், எளிய கணக்கீட்டின் மூலம் நாம் G—ன் மதிப்பைத் தீர்மானிக்கலாம்.

இத்தகைய பரிசோதனைகள் பல முறை செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. G ன் மதிப்பு ஈர்க்கும் பொருட்களின் பருப்பொருளையும் அவை அமைந்திருக்கும் ஊடகத்தின் குணுதியங்களையும் சார்ந்திருக்காமல், ஒரே எண்ணுகவே இருப்பதை இவை நிரூபித்தன. G என்னும் கணியம் ஈர்ப்பு மாறிலி என அழைக்கப்படுகிறது. இதன் மதிப்பு 6.67×10^{18} செ.மீ^{3}/கி.விஞடி^{2} க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

G ன் மதிப்பைத் தீர்மானிக்கும் பரிசோதனைகளின் படம், படம் 64ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. சர்வசமமான பொருண்மைகளையுடைய இரு பந்துகள் ஒரு தராசுக் கோலின் இரு நுனிகளிலிருந்தும் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றில் ஒன்று ஈயத் தகட்டுக்கு மேலும் மற்றொன்று அதற்குக் கீழும் அமைந்திருக்கின்றன. அதன் ஈர்ப்பினுல் ஈயம் (சோதனைக்காக 100 டன் ஈயம் உபயோகப்படுத்தப் பட்டிருக்கிறது) வலது புறம் இருக்கும் பந்தின் எடையைக்



படம் 64

கூட்டுகிறது. இடது புறம் அமைந்துள்ள பந்தின் எடையைக் குறைக்கிறது. முதலாவது பந்தின் எடை இரண்டாவதின் எடையைக் காட்டிலும் அதிகமாயிருக்கிறது. தராசுக் கோலின் விலக்கத்தின் எண்மதிப்பை அடிப்படையாகக் கொண்டு *G* ன் மதிப்பு கணக்கிடப்படுகிறது.

G ன் மதிப்பு மிகச் சிறியதாக (குறிப்பிடத் தகுந்த அளவு இல்லாமல்) இருப்பதனுல்தான் இரு பொருட்களுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையைத் தடங்காண்பது மிகவும் கடினமாயிருக்கிறது.

ஒன்றிலிருந்து மற்ருென்று 1 மீட்டர் தூரத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் 100 கி.கி எடையுள்ள கனமான இரு பளுக்கள், 6.7 டைன்களுக்கு அதாவது 0.007 கி.வி க்குச் சமமான விசையுடன் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கின்றன.

ஆனுல் வானில் அமைந்திருக்கும் பொருட்களுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசைகள் எவ்வளவு வலிமை வாய்ந்தவை என்பதைக் கீழ்வரும் கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. சந்திரனுக்கும் பூமிக்கும் இடையே,

$$F = 6.7 \times 10^{-18} \frac{6 \times 10^{27} \times 0.74 \times 10^{26}}{(38 \times 10^{9})^{2}} =$$

$$= 2 \times 10^{25} \text{ டைன்கள்} \simeq 2 \times 10^{19} \text{ கி.கி.வி}$$

பூமிக்கும் சூரியனுக்கும் இடையே

$$F = 6.7 \times 10^{-18} \frac{2 \times 10^{33} \times 6 \times 10^{27}}{(15 \times 10^{12})^2} =$$

$$= 3.6 \times 10^{27} \text{ டைன்கள்} \simeq 3.6 \times 10^{21} \text{ கி.கி.வி.}$$

பூமியின் எடையை நிர்ணயித்தல்

நாம் அனைத்து ஈர்ப்பு விதியை உபயோகப்படுத்தத் தொடங்கும் முன்னர் முக்கியமான ஒரு விளக்கத்தின் பக்கம் நம் கவனத்தைத் திருப்ப வேண்டியிருக்கிறது.

ஒன்றுக்கொன்று ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் இரு பளுக்களுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையைச் சற்று முன்னர்தான் நாம் கணக்கிட்டிருக்கிறோம். இத்தூர இடைவெளி 1 செ.மீ ஆக இருந்தால் அவற்றிற்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையை எவ்வாறு கணக்கிட வேண்டும். பொருட்களின் மேற்பரப்புக்கு இடையே அமைந்துள்ள தூரம், அவற்றின் ஈர்ப்பு மையங்களுக்கிடையே அமைந்துள்ள தூரம், இவற்றில் எந்த மதிப்பை அல்லது வேறு எந்த மதிப்பை நாம் சூத்திரத்தில் மாற்றீடு செய்தல் வேண்டும்?

இத்தகைய ஐயங்களுக்கு இடமில்லாமலிருக்கும் பொழுது $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ என்ற அனைத்து ஈர்ப்பு விதியை நாம் முழுவதுமாக உபயோகிக்கலாம். பொருள்களுக்கிடையே அமைந்துள்ள தூரம் அவற்றின் பரிமாணங்களைக் காட்டிலும் மிக அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும். பொருள்களைப் புள்ளிகளாக எடுத்துக் கொள்ளுவதற்கு நமக்கு உரிமை வேண்டும். ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் இரு பொருட்களுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு நாம் இவ்விதியை எவ்வாறு உபயோகிக்க வேண்டும்? இக்கேள்வியின் பதில் கொள்கை

ரீதியாக எளிதாயிருக்கிறது. கொள்கை ரீதியாக நாம் பொருள்களை சிறு துண்டுகளாக உடைத்து, அவற்றின் ஒவ்வொரு சதைக்கும் இடையே செயல்படும் F என்னும் விசையைக் கணக்கிட்டுப் பின்னர் இவ்விசைகள் எல்லாவற்றையும் கூட்ட வேண்டும் (திசையுளி முறையில்)

கொள்கை ரீதியாக இது எளிதாயிருக்கிறது. ஆனால் நடைமுறையில் இது மிகவும் சிக்கலான வழியாகும்.

இருப்பினும் இயற்கை நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது. பொருளின் துகள்கள், $1/r^2$ க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் விசையுடன் ஒன்றையொன்று ஈர்த்தால், கோள வடிவமான பொருட்கள், கோளங்களின் மையங்களில் அமைந்திருக்கும் புள்ளிகளைப் போன்ற ஈர்க்கும் தன்மையையே கொண்டிருக்கின்றன என்பதைக் கணக்கீடுகள் நிரூபிக்கின்றன. ஒன்றுக்கொன்று அருகில் அமைந்திருக்கும் இரு கோளங்களின் மையங்களுக்கிடையேயான தூரம் r ஆக இருந்தால், $F=\frac{Gm_1m_2}{r^2}$ என்ற சூத்திரம் சரியாகப் பொருந்துகிறது. பூமியின் மேற்பரப்பில் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு நாம் ஏற்கனவே இவ்விதியைப் பயன்படுத்தியிருக்கிறோம்.

பூமி, தன்னை நோக்கி பொருட்களை ஈர்க்கும் விசையை நாம் கணக்கிடும் பொழுது சூத்திரத்தை உபயோகப்படுத்துவதற்கு நமக்கு உரிமை இருக்கிறது. பூமியின் மையத்திலிருந்து பொருள் அமைந்திருக்கும் தூரத்தை நாம் r என எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்.

பூமியின் பொருண்மையை M எனவும், அதன் ஆரத்தை R எனவும் எடுத்துக் கொள்ளவும். பூமியின் மேற்பரப்பில் அமைந்திருக்கும் m என்னும் பொருண்மையைக் கொண்ட பொருளின் மீது செயல்படும் ஈர்ப்பு விசை,

$$F=\frac{GMm}{R^2}$$

ஆகும்.

ஆனால் உண்மையில், இதுவே நாம் எப்பொழுதும் mg ஆல் குறிப்பிடும், பொருளின் எடையாகும். ஆகவே ஈர்ப்பினால் உண்டாகும் முடுக்கம்

$$g=\frac{GM}{R^2}$$

என்றாகிறது.

முடிவில், பூமியின் எடை எவ்வாறு கணக்கிப்படுகிறது என்பதை நாம் சொல்லலாம். g, G மற்றும் R முதலிய கணியங்களின் மதிப்புகள் நமக்குத் தெரிந்தவையே. ஆகவே இச்சூத்திரத்திலிருந்து, பூமியின் பொருண்மையைக் கணக்கிடுவது சாத்தியமாகிறது. இதே முறையில் சூரியனின் பொருண்மையையும் தீர்மானிப்பது சாத்தியமாகும்.

ஆனால், இத்தகைய கணக்கீட்டை உண்மையில் நாம் நிறுவை என அழைக்கலாமா? ஆம். இவ்வாறு அழைக்கலாம். இயற்பியலில் மறைமுகமான அளவீடுகள் குறைந்த பட்சம் நேரடியான அளவீடுகள் போன்ற முக்கிய பங்கு ஆற்றுகின்றன.

இங்கு நாம் புதுமையான ஒரு பிணக்கைத் தீர்ப்பதற்கு முயற்சி செய்வோம்.

''தொங்கவிடப்பட்ட'' அதாவது பூமியின் மேற்பரப்புக்கு மேலே எப்பொழுதும் ஒரே புள்ளியிலேயே அமைந்திருக்கும் ஸ்புட்னிக் ஒன்றின் அமைப்பு, உலகம் முழுவதுமாகத் தொலைக்காட்சியை நிறுவும் திட்டத்தில் முக்கிய பங்கு ஏற்கிறது. இப்படிப்பட்ட ஸ்புட்னிக் குறிப்பிடத்தக்க உராய்வு விசையின் செயற்பாட்டுக்கு உட்படுத்தப்படுமா? என்ற கேள்வி எழுகிறது. இது, பூமியிலிருந்து எவ்வளவு உயரத்தில், ஸ்புட்னிக் சுழற்சியை மேற்கொள்ள வேண்டிடியிருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்தது.

''தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும்'' ஒரு ஸ்புட்னிக் $T=24$ மணிகள் என்னும் அலைவு நேரத்துடன் சுழல வேண்டியி

ருக்கிறது. ஸ்புட்னிக்கிலிருந்து பூமியின் மையம் வரையிலான ஆரம் r ஆக இருந்தால், அதன் வேகம் $v = \frac{2\pi r}{T}$ ஆகவும், அதன் முடுக்கம் $\frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ ஆகவும் இருக்கின்றன. வேறு விதமாக நோக்கினுல், ஈர்ப்பை மூல காரணமாகக் கொண்டிருக்கும் இம் முடுக்கம், $\frac{GM}{r^2} = \frac{gR^2}{r^2}$ —க்குச் சமமாயிருக்கிறது. முடுக்கத்துக்கான நமது இரு சூத்திரங்களையும் நாம் சமப்படுத்தினுல்:

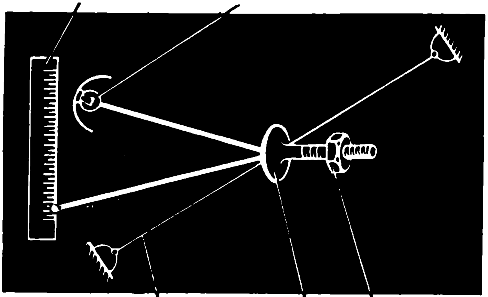
$$g\frac{R^2}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \text{ அதாவது}$$

$$r^3 = \frac{gR^2T^2}{4\pi^2} \text{ என்ருகிறது.}$$

முழுமை செய்யப்பட்ட தொகைகளாகிய $g = 10$ மீ/விஞடி^{2}, $R = 6 \times 10^6$ மீ மற்றும் $T = 9 \times 10^4$ விஞடிகள் ஆகியவற்றை நாம் சூத்திரத்தில் மாற்றீடு செய்தால், $r^3 = 7 \times {}^{22}$ மீ^{3} அதாவது $r \simeq 4 \times 10^7$ மீ $= 40{,}000$ கி.மீ என்ருகிறது. இவ்வளவு உயரத்தில் காற்றினுல் உராய்வு ஏற்படுவதில்லை. ''தொங்கிக் கொண்டிருக்கும்'' ஒரு ஸ்புட்னிக்கை அமைப்பதில் நாம் வெற்றி பெற்று விட்டால், உராய்வினுல் அதன் ''இயக்கமற்ற சுழற்சி'' யின் வேகம் குறைவதில்லை.

கனிவள ஆய்வுப்பணியில் g-ன் அளவீடுகள்

நீண்ட கம்பி ஒன்றை உட்செலுத்தாமலும், குழியைத் தோண்டாமலும் பூமிக்கு அடியில் அமைந்திருக்கும் உபயோகமான தாதுப் பொருட்களின் படிவங்களைக் கண்டுபிடிப்பதையே நோக்கமாகக் கொண்ட புவி அமைப்பியல்



படம் 65

சார்ந்த கனிதள ஆய்வே நம் விவாதத்தின் தலைப்பாகும்.

ஈர்ப்பு முடுக்கத்தை மிகத் துல்லியமாகக் கணிக்கும் முறைகள் சில இருக்கின்றன. வில் தராசு ஒன்றின் உதவியால் ஒரு திட்ட அளவு பளுவின் எடையைக் காண்பதிலிருந்தும் g ஐக் கணிப்பது சாத்தியமாகிறது. [illegible] பியலில் உபயோகிக்கும் தராசுகள் அதிக உணர்வுடையனவாய் இருத்தல் வேண்டும். ஒரு கிராமில் மில்லியனில் ஒரு பகுதியைவிடக் குறைந்த பளு ஒன்றைக் கூடுதலாகத் தட்டில் வைக்கும் பொழுது, இத்தராசுகளின் விற்கள் [illegible] றின் நீட்சிகளை மாற்றுகின்றன. குவார்ட்ஸ் இழை [illegible] முடிவுகளைக் கொடுக்கின்றன. கொள்கை ரீதியாக, இத்தராசுகளை அமைப்பது சிக்கலானதல்ல. கிடைமட்டத்தில் இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கும் குவார்ட்ஸ் இழையுடன் நெம்பு கோல் ஒன்று பற்ற வைத்து இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது (படம் 65). நெம்புகோலின் எடை, இவ்விழையை இலேசாக முறுக்குகிறது.

இதே நோக்கத்திற்காக ஊசலியும் உபயோகப்படுத்தப் படுகிறது. சமீப காலம் வரையிலும், g ஐ அளப்பதற்கு

ஊசிலி முறைகள் மட்டுமே பழக்கத்திலிருந்தன. 10லிருந்து 20 வருடத்துக்கு உட்பட்ட காலத்தில்தான், அதிக வசதியும், துல்லியமும் கொண்ட தராசு முறைகள் பழைய முறைகளை மாற்றீடு செய்ய ஆரம்பித்தன. எப்படியாயினும், ஒரு ஊசிலியின் அலைவு நேரத்தைக் கணித்து $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ என்னும் சூத்திரத்தை உபயோகித்து, g ன் மதிப்பைப் போதுமான துல்லியத்துடன் வரையறுக்கலாம்.

ஒரே கருவியைக் கொண்டு பல இடங்களில், g ன் மதிப்பைக் கணிப்பதிலிருந்தும் நாம் ஈர்ப்பு விசையில் ஏற்படும் சார்பு மாற்றத்தை மில்லியனில் ஒரு பகுதிக்குத் துல்லியமாகத் தடங்காணலாம்.

பூமியின் மேற்பரப்பில் ஏதாவது ஒரு இடத்தில் g ன் மதிப்பைக் கணிக்கும் பொழுது, ''இவ்விடத்தில் g ன் மதிப்பு முரண்பட்டிருக்கிறது. இயல்பான மதிப்பைக் காட்டிலும் இங்கு இவ்வளவு குறைந்திருக்கிறது. இயல்பான மதிப்பைக் காட்டிலும் இவ்வளவு கூடுதலாய் இருக்கிறது, என்பனவற்றைப் பரிசோதனை செய்பவர்கள் உறுதியாகக் கூறுகிறார்கள்.

ஆனால் g ன் இயல்பான மதிப்பு என்ன?

பூமியின் மேற்பரப்பின் மீது ஈர்ப்பு முடுக்கத்தின் மதிப்பில் ஏற்படும் விதிக்குட்பட்ட இரு மாறுதல்கள் முன்னரே காட்சிப் பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. இவை ஆய்வாளர்களுக்கும் நன்கு தெரிந்தனவையே!

முதலாவதாக, துருவத்திலிருந்து நிலநடுக் கோட்டை நோக்கிச் செல்லும் பொழுது இயல்பாகவே மாறுகிறது. இதைப் பற்றி நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். இம் மாறுதல் இரு வினைமுதல்களின் விளைவாகவே ஏற்படுகிறது என்பதை நாம் ஞாபகப்படுத்திக் கொள்வோம். முதலாவதாக, பூமி கோள வடிவமாக இல்லாததால், துருவத்தில்

இருக்கும் ஒரு பொருள், நிலநடுக் கோட்டில் அமைந்திருக்கும் ஒன்றைக் காட்டிலும் பூமியின் மையத்துக்கு அருகாமையில் அமைந்திருக்கிறது. இரண்டாவதாக, ஒரு பொருள் நிலநடுக் கோட்டை நோக்கி அதிகமாக நெருங்கிச் செல்லும் பொழுது, மையவிலக்கு விசையின் செயற்பாட்டினுல் ஈர்ப்பு விசை அதிகமாகப் பலவீனப்படுத்தப்படுகிறது.

g ன் மதிப்பில் ஏற்படும் விதிக்குட்பட்ட இரண்டாவது மாறுதல் உயரத்தினுல் உண்டாவதாகும். $g=\frac{GM}{(R+h)^2}$ என்ற சூத்திரத்திற்கு ஏற்ப பூமியிலிருந்து உயரம் அதிகமாவதைப் பொறுத்து g ன் மதிப்பு குறைகிறது. இங்கு R என்பது பூமியின் ஆரமாகவும், h என்பது கடல் மட்டத்திலிருந்து கணிக்கப்படும் உயரமாகவும் இருக்கின்றன.

ஆகவே ஒரே குறுக்களவைக் கொண்ட, கடல் மட்டத்துக்கு மேல் ஒரே உயரத்தில் அமைந்திருக்கும் எல்லா இடங்களிலும் ஈர்ப்பு முடுக்கம் சர்வசமமாக இருத்தல் வேண்டும்.

ஈர்ப்பு முரண்பாடுகள் என அழைக்கப்படும், இவ்வியல்பான மதிப்பிலிருந்து ஏற்படும் விலக்கங்கள் அடிக்கடி நிகழ்கின்றன என்பதைத் துல்லியமான அளவீடுகள் நிரூபிக்கின்றன. கணிக்கப்படும் இடத்தின் அருகில் பூமியின் பொருண்மை ஒரே சீராகப் பரப்பீடு செய்யப்படாததுதான் இம்முரண்பாட்டின் வினைமுதலாகும்.

நாம் ஏற்கனவே விவரித்தது போலவே, ஒரு பெரிய பொருள் செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசையை, கொள்கை ரீதியாக, பெரிய பொருளில் அடங்கியிருக்கும் தனித்தனித் துகள்கள் செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசைகளின் கூட்டுத்தொகையால் குறிப்பிடலாம். ஒரு ஊசலியில் செயல்படும், புவியை நோக்கிய ஈர்ப்பு விசை, அதன் மீது பூமியின் எல்லாத் துகள்களும் செயல்படுத்தும் விசைகளின்

விளேவாகும். ஊசிலிக்கு அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் துகள்கள்தான் இவ்விளேவுக்கு அதிக பங்கைக் கொடுக்கின்றன என்பது தெரிய வருகிறது. ஏனெனில் ஈர்ப்பு, தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

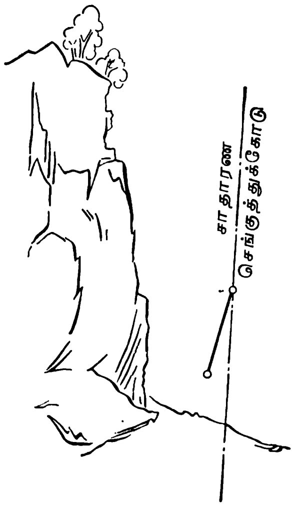
அளவிடும் இடத்திற்கு அருகில் கனமான பொருண்மைகள் ஒரு முனேப்படுத்தப்பட்டிருந்தால், அங்கு g ன் மதிப்பு, இயல்பான மதிப்பைக் காட்டிலும் கூடுதலாயிருக்கும். இதற்கு எதிரான சூழ்நிலேயில் g ன் மதிப்பு, இயல்பானதைக் காட்டிலும் குறைவாயிருக்கும்.

உதாரணமாக, முதலில் நாம் ஒரு மலேயின் மேல் இருந்தும் பின்னர் கடலுக்கு மேலே மலேயின் உயரத்தில் பறந்து கொண்டிருக்கும் ஆகாய விமானத்தில் இருந்தும் g ஐ அளவிட்டால், முதல் அளவீட்டில் g ன் மதிப்பு கூடுதலாயிருக்கும். உதாரணமாக இத்தாலியில் அமைந்திருக்கும் ''இட்ஞ' என்ற மலேயின் மீது g ன் மதிப்பு, இயல்பான மதிப்பைக் காட்டிலும் 0.292 செ.மீ/விஞடி^{2} கூடுதலாக இருக்கிறது. தனியாக அமைந்திருக்கும் கடல் தீவுகளிலும் g ன் மதிப்பு இயல்பானதைக் காட்டிலும் கூடுதலாயிருக்கிறது. இவ்விரு உதாரணங்களிலும் அளவிடும் இடத்தில் கூடுதல் பொருண்மை ஒரு முனேப்படுத்தப்பட்டிருப்பதே g ன் அதிகரிப்புக்கான காரணமாகும் என்னும் விளக்கம் நாமனேவரும் அறிந்த ஒன்றே!

g ன் எண்மதிப்பு மட்டுமின்றி, ஈர்ப்பு விசையின் திசையும் இயல்பான திசையிலிருந்து விலகியிருக்கலாம். ஒரு நூலில் பளு தொங்கவிடப்பட்டால், நீட்டப்பட்ட கயிறு, அவ்விடத்தின் நிலேக்குத்துக் கோட்டைக் குறிக்கும். இந் நிலேக்குத்துக் கோடு, இயல்பான நிலேக்குத்துக் கோட்டிலிருந்தும் விலகியிருக்கலாம். புவி அமைப்பியல் அறிஞர்கள், பிரத்யேகத் தேசப் படங்களிலிருந்து நிலேக்குத்துக் கோட்டின் இயல்பான திசையை அறிந்து கொள்கிருர்கள்.

இப்படங்களில், ẞ ன் மதிப்பைக் காட்டும் அட்டவணையில் பூமியின் இயல்பான வளையங்கள் (contours) அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

மிக உயரமான மலையின் அடிவாரத்தில் நாம் குண்டு நூலைக் கொண்டுசோதனைகள் செய்துகொண்டிருப்பதாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளவும். குண்டு நூலின் பளுவைப் பூமி அதன் மையத்தை நோக்கியும், மலை அதை நோக்கி ஒரு பக்கமாகவும் ஈர்க்கின்றன. இத்தகைய சூழ்நிலையில் குண்டு நூல் இயல்பான நிலைக்குத்துத் திசையிலிருந்தும் விலக்கப்பட்டிருத்தல் வேண்டும் (படம் 66). பூமியின் பொருண்மை மலையின் பொருண்மையைக் காட்டிலும் மிகவும் அதிகமானதாயிருப்பதால் இந்த விலக்கம் வில்லின் சில வினாடிகளுக்கு மிகாமல் இருக்கிறது.



படம் 66

விண்மீன்களின் உதவியால் இயல்பான நிலைக்குத்துக் கோட்டின் திசையை வரையறுப்பது சாத்தியமாகிறது. ஏனெனில், ஒரு குறிப்பிட்ட வருடத்தில், ஒரு குறிப்பிட்ட நாளில், பூமியின் ''இயல்பான'' வளையத்தின் நிலைக்குத்துக் கோடு வானில் எந்த இடத்தில் அமைந்திருக்கிறது என்ற குறிப்பு ஒவ்வொரு புவி அமைப்பியல் புள்ளிக்கும் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

குண்டு நூல் விலக்கங்கள் சில வேளைகளில் புதுமையான முடிவுகளைத் தருகின்றன. உதாரணமாக, பிளாரென்சில் அப்பெனின்சின் செயற்பாடு, குண்டு நூலைத் தன்னை நோக்கி

ஈர்க்காமல் எதிர்த்துத் தள்ளுகிறது. இதற்கான விளக்கம் கீழ்வருமாறுதான் இருக்க முடியும். மலையினுள் அதிகமான வெற்றிடங்கள் இருக்கின்றன.

நிலப்பகுதியிலும், கடலிலும் அமைந்திருக்கும் தராசுகளின் உதவியால் கணிக்கப்பட்ட ஈர்ப்பு முடுக்கங்கள் முக்கியமான முடிவுகளைத் தருகின்றன. நிலப்பகுதி கடலைக் காட்டிலும் குறிப்பிடத்தக்க அளவு கனமாயிருக்கிறது. ஆகவே கடலின் மேல் இருப்பதைக் காட்டிலும் நிலப்பகுதியில் g ன் மதிப்பு கூடுதலாய் இருத்தல் வேண்டும். ஆனால் உண்மையில், கடலுக்கு மேலானாலும் சரி, அல்லது நிலப்பகுதியில் ஆனாலும் சரி, ஒரே குறுக்கையளவில் அமைந்திருக்கும் இடங்களில் g ன் மதிப்புக்கள் சராசரியாகச் சர்வசமமாயிருக்கின்றன.

இதற்கும் ஒரே விளக்கம்தான் இருக்கிறது. நிலப்பகுதி கனம் குறைவான பாறைப் படுக்கைகளின் மீதும், கடற்பகுதி கனமான பாறைப் படுக்கைகளின் மீதும் அமைந்திருக்கின்றன. உண்மையில், நேரடியாகக் கனிவள ஆய்வு சாத்தியமான இடங்களில், கடல் கனமான எரிமலைப் படுக்கையின் மீதும், நிலப்பகுதிகள் எடை குறைந்த கருங்கள் பாறைப் படுக்கைகளின் மீதும் அமைந்திருக்கின்றன எனப் புவி அமைப்பியல் அறிஞர்கள் திட்டமாகக் கூறியிருக்கிறார்கள்.

ஆனால் உடனேயே கீழ்வரும் வினாவு நம் மனதில் எழுகிறது. கடற்பகுதி, நிலப்பகுதி ஆகியவற்றுக்கிடையேயான பொருண்களின் வித்தியாசத்தை, அவற்றிற்குக் கீழே அமைந்திருக்கும் முறையே கனமான, கனம் குறைந்த பாறைப் படுக்கைகள் ஏன் இவ்வளவு சரியாக ஈடு செய்கின்றன? இவ்வாறு ஈடு செய்தல் தற்செயலாக நிகழ முடியாது. பூமிக் கூட்டின் அமைப்பே இதன் காரணமாக இருத்தல் வேண்டும்.

பூமிக் கூட்டின் மேற்பகுதி, அதன் கீழ் அமைந்திருக்கும்

மீட்சியுரு (அதாவது ஈரக் களிமண் போன்று எளிதில் வடி வத் திரிபு அடையும்) பொருண்மையின் மேல் மிதந்து கொண்டிருக்கிறது எனப் புவி அமைப்பியல் அறிஞர்கள் கருத்கோள் கொள்கிருர்கள். தண்ணீரால் நிரப்பப்பட்டு, அதன் மீது வித்தியாசமான மரக் கட்டைகள் மிதக்க விடப் பட்டிருக்கும் ஒரு பாத்திரத்தின் அடியில் ஒவ்வொரு புள் ளியிலும் அழுத்தம் சர்வசமமாக இருப்பது போலவே, பூமியின் மேற்பரத்திலிருந்து 100 கி.மீ ஆழத்தில், ஒவ் வொரு புள்ளியிலும் அழுத்தம் சர்வசமமாக இருக்கிறது. இதனுல் ஒரு சதுர மீட்டர் பரப்பளவுடைய, பூமியின் மேற் பரப்பிலிருந்து 100 கி.மீ ஆழம் கொண்ட ஒரு பொருட்கம்ப மானது, நிலப்பகுதிக்குக் கீழே அமைந்திருந்தாலும் கடற் பகுதிக்குக் கீழே அமைந்திருந்தாலும், ஒரே எடையைக் கொண்டிருக்க வேண்டும்.

இவ்வாறு அழுத்தங்கள் சமநிலைப்படுத்தப்படுதலே (இதுவே isostasy என அழைக்கப்படுகிறது) ஒரே குறுக் கையளவில் அமைந்திருக்கும் நிலப்பகுதி, கடற்பகுதி ஆகிய வற்றுக்கு மேல் ஈர்ப்பு முடுக்கத்தின் மதிப்பு குறிப்பிடத்தக்க அளவு வித்தியாசமாயில்லாததற்கான காரணமாக அமைகி றது.

ஹாபின் வியப்புக் கதைகளில், தங்கம், வெள்ளி முதலி யவை புதைந்திருக்கும் இடங்களில் மந்திரக் கோல் பிடித்து நின்று மூக் என்னும் சிறுவனுக்கு உதவுவது போன்று, ஒரு வட்டாரத்தில், ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு முரண்பாடுகள் நமக்கு உதவியாயிருக்கின் றன.

g ன் மதிப்பு பெருமமாயிருக்கும் இடங்களில் நாம் கனமான தாதுப் பொருட்களைத் தேடிப் பார்க்க வேண்டும். இதற்கு மாருக, g ன் மதிப்பு குறைவாய் இருக்கும் இடங்க ளில் கனம் குறைந்த உப்புப் படுக்கைகள் கண்டுபிடிக்கப்

பட்டிருக்கின்றன. 1 செ.மீ/விஞடி^{2}ல் நூறுயிரத்தில் ஒரு பகுதிக்குத் துல்லியமாக g ன் மதிப்பைக் கணித்தல் சாத்தியமாகிறது.

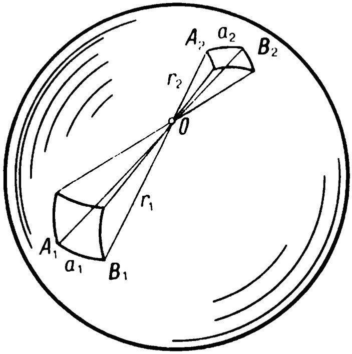
ஊசிலி, மீத்துல்லிய தராசுகள் முதலியவற்றின் மூலம் செய்யப்படும் கனிவள ஆய்வு முறைகள், ஈர்ப்பு முறைகள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. குறிப்பாக எண்ணெய்ப் படுக்கைகளைக் கண்டுபிடிக்கும் முயற்சியில், இம்முறைகள் நடைமுறை பயனளிப்பவையாயிருக்கின்றன. ஈர்ப்பு முறையில், அடையாளம் காணும் பொழுது, பூமிக்கு அடியில் அமைந்திருக்கும் உப்புப் பாறைகளைக் கண்டுபிடித்தல் மிக எளிது. ஆனால் பெரும்பாலும் உப்புப் படுக்கைகள் அமைந்திருக்கும் இடத்தில் எண்ணெயும் இருப்பதாகத் தெரிய வருகிறது: இதுவே இம்முறையின் அடிப்படை உண்மையாகும். மேலும், எண்ணெய் சிறிது ஆழத்தில் அமைந்திருக்கிறது; ஆனால் உப்பு மேற்பரப்புக்கு அருகிலேயே காணப்படுகிறது. கஸக்ஸ்தான் போன்ற இன்னும் சில இடங்களிலும் ஈர்ப்பு முறையில் அடையாளம் காணுதலின் மூலமாகவே எண்ணெய் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

பூமிக்கு அடியில் எடை

இங்கு மற்றொரு முக்கியமான கேள்வியைப் பற்றி நாம் விளக்கிக் கூற வேண்டிருக்கிறது. நாம், பூமிக்கு அடியில் ஆழமாகச் செல்லும் பொழுது ஈர்ப்பு விசை எவ்வாறு மாறுதலடைகிறது?

பூமியின் ஒவ்வொரு பருப்பொருள் துண்டிலிருந்தும் வெளிப்பட்டு நம் பரிசீலனையின் கீழ் உள்ள ஒரு பொருளை அடையும், கண்ணுக்குப் புலப்படாத நூற்களின் இழுவிசையின் விளைவே அப்பொருளின் எடையாகும். பூமியின் துகள்கள், பொருளின் மீது செயற்படுத்தும் அடிப்படை விசைகளின் கூட்டுத்தொகையின் முடிவாகிய, விசைகளின்

தொகுபயனே அப்பொருளின் எடையாகும். இவ்விசைகள் யாவும் வித்தியாசமான கோணங்களில் செயல்பட்டாலும் இவையாவும் ஒரு பொருளைக் கீழ் நோக்கியே, அதாவது பூமியின் மையத்தை நோக்கியே இழுக்கின்றன.



படம் 67

பூமிக்கு அடியில் அமைந்திருக்கும் ஆய்வகம் ஒன்றில் ஒரு பொருளின் எடை என்னவாக இருக்கும்? பூமியின் வெளிப்புற, உட்புற அடுக்குகள் யாவும் செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசைகள் பொருளின் மீது செயல்படுகின்றன.

பூமிக்கு அடியில் அமைந்திருக்கும் ஒரு புள்ளியில் வெளிப்புற அடுக்கு செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசையைப் பற்றி நாம் பரிசீலிப்போம். இந்த அடுக்கை நாம் மெல்லிய கூடுகளாகப் பிரித்து, அவற்றில் ஒன்றிலிருந்து a_1 என்னும் பக்கத்தைக் கொண்ட ஒரு சிறு சதுரத்தை வெட்டி எடுக்கவும். பின்னர் சதுரத்தின் சுற்றுப்புற எல்லையிலிருந்து நாம் எடையைக் கணிக்க விரும்பும் O என்ற புள்ளியின் வழியாகச் செல்லுமாறு கோடுகளை வரையவும்; அக்கூட்டின் எதிர்ப் பகுதியிலிருந்து a_2 என்னும் வித்தியாசமான பக்கத்தைக் கொண்ட மற்றொரு சதுரத்தையும் நாம் அமைக்கிறோம் (படம் 67). இரு சதுரங்களும் O என்ற புள்ளியில் செயல்படுத்தும் விசைகள் எதிரெதிர்த் திசைகளில் அமைந்திருப்பதோடு, ஈர்ப்பு விதியின் படி, இவ்விசைகள் முறையே $\frac{m_1}{r_1^2}$, $\frac{m_2}{r_2^2}$ ஆகியவற்றிற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கின்றன.

ஆனால் சதுரங்களின் பொருண்மைகளாகிய m_1, m_2 ஆகியவை சதுரங்களின் பரப்பளவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கின்றன. ஆகவே ஈர்ப்பு விசைகள் $\frac{a_1^2}{r_1^2}$, $\frac{a_2^2}{r_2^2}$ ஆகிய எண்ணுருக்கோவைகளுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கின்றன.

எனினும் இவ்விகிதங்கள் சமமாயிருக்கின்றன. $\frac{a_1}{r_2}$ ம் $\frac{a_2}{r_2}$ முறையே OA_1B_1, OA_2B_2 என்ற முக்கோணங்களின் ஒத்த பக்கங்களின் விகிதங்களாக இருக்கின்றன என்பதைப் படம் 67லிருந்து பார்க்க முடிகிறது. சதுரங்களின் பக்கங்களாகிய A_1B_1, A_2B_2 ஆகியவை மிகச்சிறியதாயிருப்பவையாக எடுத்துக் கொண்டால், இவ்விரு முக்கோணங்களும் வடிவொத்தவையாய் இருக்கின்றன. ஆனால் எப்பொழுதும் நாம் இவ்வாறு செய்ய இயலும்.

உண்மையில் சதுரங்கள் சிறியனவாக இருந்தால், A_1B_1, A_2B_2 என்னும் நேர்கோட்டுத் துண்டுகள் அவற்றை ஒத்த விற்பகுதிகளிலிருந்தும் அதிகமாக வேறுபட்டிருப்பதில்லை. ஆனால் ஒரே வில்லே இவ்விரு கோணங்களையும் உண்டாக்குவதால் $\angle B_1A_1O = \angle OA_2B_2$. மேலும் $\angle A_1OB_1$, $\angle B_2OA_2$ ஆகிய குத்தெதிர்க் கோணங்களும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாயிருக்கின்றன. எனவே இரு முக்கோணங்களும் வடிவொத்தனவாய் இருக்கின்றன.

இவ்வடிவ நிரூபணத்தின் மூலம் $\frac{a_1}{r_2} = \frac{a_2}{r_2}$ என்பது தெளிவாகத் தெரிய வருகிறது. ஆகவே இரு முக்கோணங்களும் என்ற புள்ளியில் செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசைகள் ஒன்றையொன்று சரியீடு செய்கின்றன.

மெல்லிய கூடு ஒன்றை எதிரெதிராக அமைந்திருக்கும் வடிவொத்த முக்கோணங்களாகப் பிரிவீடு செய்வதன் மூலம் ஒரு முக்கியமான உண்மையை நாம் நிரூபித்திருக்கிறோம். மெல்லிய படித்தான (homogeneous) கோள வடிவக் கூடு

ஒன்று அதனுள் அமைந்திருக்கும் ஒரு புள்ளியில் விசையைச் செயல்படுத்துவதில்லை. ஆனால் நாம் அக்கறை கொண்டுள்ள, பூமிக்கு அடியில் உள்ள ஒரு புள்ளிக்கு மேலே அமைந்திருக்கும் கோள வடிவ அடுக்கிலிருந்தும் அமைக்கப்படும் மெல்லிய கூடுகள் எல்லாவற்றிற்கும் இது உண்மையாயிருக்கிறது. ஆகவே பொருள் அமையப்பெற்றிருக்கும் இடத்துக்கு மேலே அமைந்திருக்கும் பூமியின் அடுக்கு இல்லாதிருப்பது போலவே தோன்றுகிறது. இவ்வடுக்கின் தனித்தனிப் பகுதிகள், பொருளின் மீது செயல்படுத்தும் செயற்பாடுகள் நடுநிலையாக்கப்படுகின்றன. அதாவது வெளிப்புற அடுக்கு செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசைகளின் தொகுபயன் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

ஆனால் மேற்கூறிய விவாதத்தில், ஒவ்வொரு கூட்டினுள்ளும் பூமியின் அடர்த்தி மாறிலியாய் இருக்கிறது என நாம் ஏற்கோள் கொண்டிருக்கிறோம்.

பூமிக்கு அடியில் H என்னும் ஆழத்தில் செயல்படும் ஈர்ப்பு விசைக்கான சூத்திரம் ஒன்றை எளிதில் பெறுவதற்கு நாம் விவாதத்தின் முடிவு உதவியாயிருக்கிறது. H என்னும் ஆழத்தில் அமைந்திருக்கும் ஒரு புள்ளியில் பூமியின் உட்புற அடுக்குகள் செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசைகள் மட்டுமே செயல்படுகின்றன. இச்சூழ்நிலைக்கும், $g=\frac{GM}{R^2}$ என்னும் முடுக்கத்துக்கான சூத்திரம் பொருந்துகிறது. ஆனால் M, R ஆகியவை முறையே பூமியின் மொத்த பொருண்மையும் ஆரமுமாக இல்லாமல், இப்புள்ளிக்குச் சார்பான உட்புறப் பகுதியின் பொருண்மையாகவும் ஆரமாகவும் இருக்கின்றன. பூமி, அதன் எல்லாக் கூடுகளிலும் ஒரே அடர்த்தியைக் கொண்டிருந்தால், g க்கான சூத்திரம் கீழ்வரும் வடிவத்தைப் பெறுகிறது:

$$g=G\frac{\rho\frac{4\pi}{3}(R_E-H)^3}{(R_E-H)^2}=\frac{4}{3}\pi G\rho(R_E-H)$$

இங்கு ρ, R_E ஆகியவை முறையே பூமியின் அடர்த்தியாகவும், ஆரமாகவும் இருக்கின்றன.

g ஆனது $(R_E - H)$க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்பதை இச்சூத்திரம் குறிப்பாகச் சொல்லுகிறது. H எனக் குறிக்கப்படும் ஆழம் அதிகமாகும் பொழுது குறைகிறது.

ஆனல் உண்மையில், பூமியின் மேற்பரப்புக்கு அருகில் g, இவ்விதியின்படி மாறுவதில்லை என்பதை 5 கி.மீ ஆழம் வரையிலும் (கடல் மட்டத்துக்குக் கீழ்) சேகரித்த காட்சிப் பதிவுகள் நிரூபிக்கின்றன. இதற்கு முற்றிலும் மாருக, இந்த அடுக்கினுள் ஆழம் அதிகமாகும் பொழுது g யும் அதிகரிக்கிறது என்பதைப் பரிசோதனைகள் நிரூபிக்கின்றன. பரிசோதனைகளின் முடிவுக்கும் நம் சூத்திரத்தின் முடிவுக்கும் இடையே ஏற்பட்டிருக்கும் ஒப்புமையின்மை, வித்தியாசமான ஆழங்களில் அமைந்திருக்கும் அடர்த்திகளின் வேறுபாடு நம் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்படவில்லை என்ற உண்மையின் அடிப்படையிலேயே விளக்கப்படுகிறது.

பூமியின் பொருண்மையை அதன் கன அளவால் வகுத்து, பூமியின் சராசரி அடர்த்தி எளிதில் கணக்கிடப்படுகிறது. இக்கணக்கீட்டின் முடிவு 5.52 என்ற எண்ணைக் கொடுக்கிறது. இதே நேரத்தில் பூமியின் மேற்பரப்பில் அமைந்திருக்கும் பாறைப்படுக்கைகளின் அடர்த்தி இதை விடக் குறைவாக இருக்கிறது. அதாவது 2.75 க்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆழம் அதிகமாகும் பொழுது பூமியின் அடுக்குகளின் அடர்த்தியும் அதிகரிக்கிறது. பூமியின் மேற்பரப்பிலிருக்கும் அடுக்குகளில் சற்று முன்னர் தருவிக்கப்பட்ட சூத்திரத்திற்குட்பட்ட g ன் குறைவை, மேலே குறிப்பிட்ட விளைவு மிஞ்சி விடுகிறது. ஆகவேதான் gன் மதிப்பு அதிகரிக்கிறது.

ஈர்ப்பாற்றல்

ஒரு எளிய உதாரணத்தின் மூலமாக, நாம் ஏற்கனவே ஈர்ப்பாற்றலுடன் பழக்கப்பட்டிருக்கிறோம். பூமிக்கு மேலே h என்னும் உயரத்துக்கு ஏற்றப்பட்ட பொருள் mgh என்னும் நிலையாற்றலைக் கொண்டிருக்கிறது.

இருப்பினும் h என்னும் உயரம், பூமியின் ஆரத்தைக் காட்டிலும் மிகச் சிறியதாக இருக்கும் பொழுதுதான் இச் சூத்திரம் உபயோகப்படுத்தப்படலாம்.

ஈர்ப்பாற்றல் ஒரு முக்கியமான கணியமாகும். பூமிக்கு மேலே எதேச்சையான உயரத்துக்குத் தூக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் அல்லது இன்னும் பொதுவாக,

$$F=\frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

என்ற அனைத்து ஈர்ப்பு விதியின்படி ஒன்றையொன்று ஈர்க்கும் இரு பொருண்மைகளின் நிலையாற்றலைக் கணக்கிடுவதற்குப் பயன்படும் சூத்திரம் ஒன்றைப் பெறுவதில் நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கிறோம்.

பொருட்கள், அவை அமைந்திருக்கும் இடத்தை விட்டு அவற்றிற்கிடையேயான பரஸ்பர ஈர்ப்பு விசையின் செயற்பாட்டினால், ஒன்றையொன்று நெருங்கிச் சென்றதாக நாம் மேற்கோள் கொள்வோம். தொடக்கத்தில் அவற்றிற்கிடையேயான தூரம் r_1 ஆக இருந்தது. ஆனால் முடிவில் இத்தூரம் r_2 ஆக மாறியது. மேலும் இவ்வியக்கத்தின் போது $A = F(r_1 - r_2)$ என்னும் வேலை செய்யப்பட்டிருக்கிறது. இடைப்பட்ட ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் விசையின் மதிப்பை நாம் இச்சூத்திரத்தில் மாற்றீடு செய்ய வேண்டும். ஆகவே,

$$A=G\frac{m_1m_2}{r_{\text{int}}^2}(r_1-r_2)$$

r_1, r_2ம் ஒன்றுக்கொன்று அதிகம் வேறுபடாமல் இருந்தால், r^2_{int} க்குப் பதிலாக நாம் r_1r_2 என்ற பெருக்குத் தொகையை எழுதலாம்.

$$A = G\frac{m_1m_2}{r_1} - G\frac{m_1m_2}{r_2}$$

என்னும் வடிவத்தை நாம் பெறுகிறோம். ஈர்ப்பாற்றலின் செயற்பாட்டினால்தான் இந்த வேலை செய்யப்பட்டிருக்கிறது.

$$A = U_1 - U_2,$$

இங்கு U,U_2 ஆகியவை முறையே ஈர்ப்பு நிலையாற்றலின் ஆரம்ப மற்றும் இறுதி மதிப்புகளாகும்.

இவ்விரு சூத்திரங்களையும் ஒப்பிடுவதன் மூலமாக நாம் நிலையாற்றலுக்கான கீழ்வரும் சூத்திரத்தைப் பெறுகிறோம்

$$U = -G\frac{m_1m_2}{r}$$

இது ஈர்ப்பு விசைக்கான சூத்திரத்தை ஒத்திருக்கிறது. ஆனால் இங்கு பகுதியில் r என்னும் கணியம் அதன் முதல் மடங்குக்கு ஏற்றப்பட்டிருக்கிறது.

இச்சூத்திரத்தின்படி r ன் மதிப்பு மிக அதிகமாயிருக்கும் பொழுது நிலையாற்றலாகிய $U=0$. இத்தகைய அதிகமான தூரங்களில் ஈர்ப்பு உணரப்படாததால், இது நியாயமானதாகவே இருக்கிறது. ஆனால் பொருள்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கும் பொழுது நிலையாற்றல் குறைய வேண்டும். நிலையாற்றலின் செயலில்தானே வேலை செய்யப்படுகிறது!

ஆனால் இது பூச்சியத்திலிருந்து எந்தத் திசையில் குறைய முடியும்? எதிர்த் திசையில்தான் குறைய முடியும். ஆகவேதான் சூத்திரத்தில் ஒரு எதிர்க் குறியீடும் சேர்ந்

திருக்கிறது. —5 என்பது 0 ஐக் காட்டிலும் சிறியது; —10 ஆனது, —5ஐக் காட்டிலும் சிறியது.

நாம் பூமியின் மேற்பரப்புக்கு அருகில் நிகழும் இயக்கத்தைப் பரிசீலித்தால் ஈர்ப்பு விசைக்கான பொது எண்ணுருக் கோவையை mg ஆல் மாற்றீடு செய்யலாம். அதிகத் துல்லியத்துடன் கூடிய $U_1 - U_2 = mgh$ என்னும் சமன்பாட்டை நாம் பெறுகிறோம்.

ஆனால் பூமியின் மேற்பரப்பில், ஒரு பொருள் $-\frac{GMm}{R}$ என்னும் நிலையாற்றலைக் கொண்டிருக்கிறது. இங்கு R என்பது பூமியின் ஆரமாகும். ஆகவே பூமியின் மேற்பரப்புக்கு மேலே h என்னும் உயரத்தில்,

$$U = -\frac{GMm}{R} + mgh$$

$U = mgh$ என்னும் நிலையாற்றலுக்கான சூத்திரத்தை நாம் முதன் முதலில் அறிமுகப்படுத்திய பொழுது, உயரத்தையும், ஆற்றலையும் பூமியின் மேற்பரப்பிலிருந்து அளப்பதாகச் சம்மதித்திருக்கிறோம். $U = mgh$ என்ற சூத்திரத்தை உபயோகிக்கும் பொழுது, $-\frac{GMm}{R}$ என்ற மாறாத எண்ணுருக் கோவையை, பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்க வேண்டும் என்ற நிபந்தனையால் நாம் கழித்து விடுகிறோம். ஆற்றலின் வித்தியாசமே வேலையாக வெளிப்படுவதால் நாம் அவ்வித்தியாசத்தில் மட்டுமே அக்கறை கொண்டிருக்கிறோம். வழக்கமாக, ஆற்றலின் வித்தியாசமே அளவிடப்படுவதால், நிலையாற்றலுக்கான சூத்திரத்தில் $-\frac{GMm}{R}$ என்ற மாறிலித் தொடர் எவ்விதப் பங்கும் எடுத்துக் கொள்வதில்லை.

ஈர்ப்பாற்றல் என்பது, பூமியுடன் ஒரு பொருள் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் பிணைப்புக்களின் பலத்தை நிர்ணயிக்கிறது.

இப்பிணைப்புக்களை நாம் எவ்வாறு அறுக்கலாம்? பூமியிலிருந்து எறியப்பட்ட ஒரு பொருள் பூமிக்குத் திரும்பி வராது என்பதை எவ்வாறு உறுதி செய்வது? என்ற கேள்விகள் நம் மனதில் எழுவது இயல்பே! இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானால் நாம் பொருளுக்கு மிக அதிகமான ஆரம்பத் திசை வேகத்தைக் கொடுக்க வேண்டும் என்பது தெரிய வருகிறது. ஆனால் இதற்குத் தேவையான சிறும அளவு திசை வேகம் என்ற கேள்வி உடனேயே எழலாம்.

பூமியிலிருந்து எறியப்பட்ட ஒரு பொருள் (ராக்கெட், ஏவுகணை) பூமியிலிருந்து அதிக தூரம் செல்லும் பொழுது அதன் நிலையாற்றல் அதிகமாகிறது. (U—வின் தனி மதிப்பு குறைகிறது) அதன் இயக்க ஆற்றல் குறையும். பூமியின் ஈர்ப்புப் பிணைப்புகளை நாம் அறுக்கும் முன்னரே, அகாலமாக, அதன் இயக்க ஆற்றல் பூச்சியத்துக்குச் சமமாக ஆகும் பொழுது, எறிப்பட்ட ஏவுகணை பூமியை நோக்கித் திரும்பி விழுகிறது.

பொருளின் நிலையாற்றல் உண்மையில் பூச்சியமாகும் வரையிலும் அப்பொருள் அதன் இயக்க ஆற்றலை அழிக்காமல் காக்க வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. ஒரு ஏவுகணை புறப்பாட்டுக்கு முன்னர் $-\frac{GMm}{R}$ என்னும் நிலையாற்றலைக் கொண்டிருக்கிறது (M, R ஆகியவை முறையே பூமியின் பொருண்மையாகவும் ஆரமாகவும் இருக்கின்றன). ஆகவே மொத்த ஆற்றல் நேர்க் குறியீடுடையதாக இருக்கும்படி ஒரு திசைவேகம் ஏவுகணைக்குக் கொடுக்கப்பட வேண்டும். எதிர்க் குறியீடு உடைய மொத்த ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கும் (இயக்க ஆற்றலைக் காட்டிலும் அதிகமான தனி மதிப்புடைய நிலையாற்றலைக் கொண்டிருக்கும்) பொருள் ஈர்ப்புக் கோளத்தின் எல்லையைத் தாண்டிச் செல்ல இயலாது.

ஆகவே நாம் ஒரு எளிய நிபந்தனையைப் பெறுகிறோம். m என்ற பொருண்மையைக் கொண்ட பொருள்

பூமியின் பிணைப்பிலிருந்து விடுபட்டுச் செல்ல வேண்டுமானல், நாம் ஏற்கனவே கூறியிருப்பது போல, அது $\frac{GMm}{R}$ என்னும் ஈர்ப்பு நிலையாற்றலைச் சமாளிக்க வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது.

இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானல், ஏவுகணையின் வேகத்தைப் பூமியிலிருந்து தப்பியோடும் திசைவேகமாகிய (escape velocity) v_2ன் மதிப்பின் அளவுக்கு அதிகப்படுத்த வேண்டும். இத்தப்பியோடும் திசைவேகம், இயக்க ஆற்றலையும் நிலையாற்றலையும் சமப்படுத்துவதன் மூலம் எளிதில் கணக்கிடப்படுகிறது.

$$\frac{mv_2^2}{2}=\frac{GMm}{R}, \text{ அதாவது } v_2^2=\frac{2GM}{R}$$

அல்லது, $g=\frac{GM}{R^2}$ ஆக இருப்பதால்,

$$v_2^2=2gR.$$

காற்றுத் தடையைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளாமல், இச்சூத்திரத்தின் மூலம் கணக்கிடப்பட்ட v_2ன் மதிப்பு 11 கி.மீ/விஞடி ஆகும். இவ்வேகம், பூமியின் மேற்பரப்புக்கு அருகில் சுற்றிக் கொண்டிருக்கும் செயற்கைக் கோளின் சுற்றுப் பாதைத் திசைவேகமாகிய $v_1=\sqrt{gR}$ ஐப் போன்று $\sqrt{2}=1.41$ மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கிறது. அதாவது $v_2=\sqrt{2}\,v_1$.

சந்திரனின் பொருண்மை, பூமியின் பொருண்மையைப் போன்று 81 மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறது. சந்திரனின் ஆரம், பூமியினதைப் போன்று 4 மடங்குச் சிறியதாயிருக்கிறது. இதன் விளைவாகச் சந்திரனில், ஈர்ப்பாற்றல், பூமியிலிருப்பதைப் போன்று 20 மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறது. சந்திரனின் பிணைப்பிலிருந்து ஒரு பொருள் விடுபட்டுச்

செல்ல வேண்டுமானுல் 2.5 கி.மீ/விஞடி என்னும் திசைவேகம் போதுமானதாயிருக்கிறது.

புறப்படும் நிலையமாகிய கோளிலிருந்து ஈர்ப்புப் பிணைப்புக்களை அறுப்பதற்கு $\frac{mv_2^2}{2}$ என்னும் இயக்க ஆற்றல் செலவழிக்கப்படுகிறது. ஈர்ப்பு விசையைச் சமாளித்த பின்னர், ராக்கெட் v என்னும் வேகத்துடன் செல்ல வேண்டும் என நாம் விரும்பினுல், $\frac{mv^2}{2}$ அளவுடைய கூடுதல் ஆற்றல் தேவையாயிருக்கிறது. இத்தகைய நிலையில், ராக்கெட்டை ஏவும் பொழுது $\frac{mv_0^2}{2}=\frac{mv_2^2}{2}+\frac{mv^2}{2}$ என்னும் ஆற்றலை அதற்குக் கொடுக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. ஆகவே இதில் சம்பந்தப்பட்டிருக்கும் மூன்று வேகங்களும் கீழ்வரும் எளிய சமன்பாட்டின் மூலம் சம்பந்தப்பட்டிருக்கின்றன:

$$v_0^2=v_2^2+v^2.$$

பூமி, சூரியன் ஆகிய இரண்டின் ஈர்ப்பையும் சமாளிப்பதற்குத் தேவையான v_3 என்ற வேகம், அதாவது தூரத்து நட்சத்திரங்களுக்கு அனுப்பப்படும் ஏவுகணைகளின் சிறும வேகம் என்னவாயிருக்கும்? இவ்வேகம் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்திலிருந்து தப்பியோடும் வேகம் என அழைக்கப்படுவதால், இதை நாம் v_3 எனக் குறிக்கிறோம்.

முதலாவதாக, நாம் ஞாயிற்றின் தனிப்பட்ட ஈர்ப்பைச் சமாளிப்பதற்குத் தேவையான வேகத்தைத் தீர்மானிப்போம்.

சற்று முன்னர் நாம் நிரூபித்தது போலவே, ஒரு பாதையில் செலுத்தப்பட்ட ஏவுகணை, பூமியின் ஈர்ப்புக் கோளத்திலிருந்து விடுபட்டுச் செல்வதற்குத் தேவையான வேகம், சுற்றுப் பாதையில் செலுத்தப்பட்ட பூமியின்

துணைக்கோள் ஒன்றின் வேகத்தைப் போல $\sqrt{2}$ மடங்கு அதிகமாயிருக்கிறது. இவ்விளக்கம் சூரியனுக்கும் மிகவும் பொருந்துகிறது. அதாவது சூரியனின் பிணைப்பிலிருந்து தப்பி யோடுவதற்குத் தேவையான வேகம், சூரியனின் செயற் கைக் கோளின் (அதாவது பூமி) வேகத்தைப் போன்று $\sqrt{2}$ மடங்கு அதிகமாயிருக்கிறது. சூரியனைச் சுற்றி நிகழும் பூமி யின் இயக்க வேகம் 30 கி.மீ/விஞடி என்றிருப்பதால், சூரி யனின் ஈர்ப்புக் கோளத்திலிருந்துத் தப்பியோடுவதற்கு 42 கி.மீ/விஞடி என்னும் வேகம் அவசியமாயிருக்கிறது. இது மிக அதிகமான வேகமாகும். ஆனால் தூரத்திலிருக்கும் நட் சத்திரங்களுக்கு ஏவுகணையை அனுப்பும் பொழுது, நாம் பூமியின் இயக்கத்தையும் பயன்படுத்த வேண்டும். பூமி இயங்கிக் கொண்டிருக்கிற திசையிலேயே பொருளை ஏவ வேண்டும். அப்படியானல், 42—30=12 கி.மீ/விஞடி என்ற வேகத்தை மட்டும் நாம் கொடுக்க வேண்டியிருக்கிறது.

முடிவாக, நாம் சூரியக் குடும்பத்திலிருந்து தப்பியோ டும் வேகத்தை இப்பொழுது கணக்கிட இயலும். இது பூமி யின் ஈர்ப்புக் கோளத்தை விட்டு 12 கி.மீ/விஞடி என்ற வேகத்துடன் செல்லுமாறு அனுப்பப்பட்ட ராக்கெட்டின் வேகமாகும். சற்று முன்னர் நாம் தருவித்த சூத்திரத்தின் படி,

$$v_3^2 = 11^2 + 12^2$$

என்பதை நாம் பெறுகிருேம். இதிலிருந்து $v_3 = 16$கி.மீ/ விஞடி எனத் தெரிய வருகிறது.

ஆகவே 11 கி.மீ/விஞடி என்ற வேகத்தைக் கொண்ட ஒரு பொருள் பூமியின் பிணைப்பிலிருந்து விடுபட்டுச் செல் கிறது. ஆனல் இந்த ஏவுகணை பூமியிலிருந்து வெகு தூரத் துக்குச் செல்ல இயலாது. வெகு தூரத்துக்குச் செல்ல பூமி அனுமதிக்கிறது. ஆனல் சூரியன் அனுமதிப்பதில்லை. ஆகவே இந்த ஏவுகணை சூரியனின் செயற்கைக் கோளாக மாறிவிடும்.

கோள்களுக்கிடையேயான பயணத்திற்குச் சூரியக் குடும்பத்தின் வழியே பூமியின் சுற்றுப் பாதையினுள் பயணம் செய்வதற்குத் தேவையான வேகத்தைப் போன்று 1.5 மடங்கு அதிகமான வேகம் தேவைப்படுகிறது எனத் தோன்றுகிறது. இது உண்மைதான் ஆனுல் ஏற்கனவே கூறியது போலவே, ஏவுகணையின் ஆரம்ப வேகத்தில் ஏற்படும் ஒவ்வொரு குறிப்பிடத்தக்க அதிகரிப்பும் தொழில் நுணுக்கவியல் சார்ந்த பல சிக்கல்களை உண்டாக்குகிறது.

கோள்கள் எவ்வாறு இயங்குகின்றன?

கோள்கள் எவ்வாறு இயங்குகின்றன என்ற கேள்விக்குக் கீழ்வருமாறு மிகச் சுருக்கமாகப் பதிலளிக்கலாம். ''ஈர்ப்பு விதியின்படி.'' ஏனெனில் கோள்களின் மீது செயல்படும் ஒரே விசை ஈர்ப்பு விசையேயாகும்.

கோள்களின் பொருண்மைகள், சூரியனின் பொருண்மையைக் காட்டிலும் மிகவும் குறைவாயிருப்பதால் கோள்களுக்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயற்பாடு, இதில் அதிகப்பங்கு ஏற்பதில்லை. ஏனைய கோள்கள் இல்லாதிருப்பது போன்றே ஒவ்வொரு கோளும் சூரியனின் ஈர்ப்பு விசையின் தூண்டுதலுக்கேற்ப இயங்குகிறது.

சூரியனைச் சுற்றி வரும் கோள்களின் இயக்க விதிகள் அனைத்து ஈர்ப்பு விதியிலிருந்து தருவிக்கப்பட்டவையே!

ஆனுல் வரலாற்று ரீதியாக, இவை இந்த வரிசைக்கிரமத்தில் வளர்ச்சியடையவில்லை. வானியல் காட்சிப் பதிவுகளின் இருபது வருடப் பகுப்பாய்வின் அடிப்படையில், நியூட்டனுக்கு முன்னரே, ஈர்ப்பு விதியின் உதவியின்றி, தன்னிகரற்ற ஜெர்மானிய வானியல் அறிஞராகிய இயோகன்ஸ் கெப்ளர் என்பவரால் கோளியக்க விதிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

சூரியனைச் சுற்றிக் கோள்கள் இயங்கும் பாதைகள் அல்

லது வானியல் அறிஞர்கள் குறிப்பிடுவது போன்று கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகள் கிட்டத்திட்ட வட்ட வடிவமாக இருக்கின்றன. கோளின் சுற்று நேரம் அதன் சுற்றுப் பாதையின் ஆரத்துடன் எவ்வாறு சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது?

ஒரு கோள் மீது சூரியன் செயல்படுத்தும் ஈர்ப்பு விசை $F = \frac{GMm}{r^2}$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இதில் M என்பது சூரியனின் பொருண்மையாகவும், m என்பது கோளின் பொருண்மையாகவும், r என்பது அவற்றிற்கிடையேயான தூரமாகவும் இருக்கின்றன.

ஆனுல் இயந்திரவியலின் அடிப்படை விதியின்படி, $\frac{F}{m}$ என்பது முடுக்கமே தவிர வேறொன்றுமில்லை. இது மைய நோக்கு முடுக்கமாக இருக்கிறது.

பரிதியின் நீளமாகிய $2\pi r$ஐ, சுற்று நேரமாகிய T ஆல் வகுத்து கோளின் வேகத்தைக் குறிப்பிடலாம். $v = \frac{2\pi r}{T}$ என்பதையும், F எனப்படும் விசையின் மதிப்பையும் முடுக்கத்தின் சூத்திரத்தில் மாற்றீடு செய்வதனுல்

$$\frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{GM}{r^2}, \text{ அதாவது } T^2 = \frac{4\pi^2 n^3}{GM}$$

என்பதை நாம் பெறுகிறோம்.

r^3 ன் முன் நிற்கும் விகித சமத்தின் கெழு, சூரியனின் பொருண்மையை மட்டும் சார்ந்திருக்கும் ஒரு கணியமாகும். எல்லாக் கோள்களுக்கும் இக்கணியம் சர்வசமமாய் இருக்கிறது. இதன் விளைவாக, கீழ்வரும் சமன்பாடு எந்த இரு கோள்களுக்கும் ஏற்றதாயிருக்கும்.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

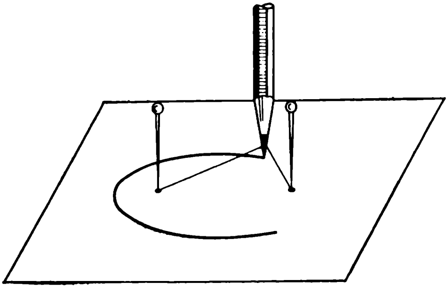
கோள்களின் சுற்று நேரங்களின் இருமடிகளின் விகிதம், அவற்றின் சுற்றுப் பாதைகளின் ஆரங்களின் மும்மடிகளின் விகிதத்துக்குச் சமமாயிருப்பதாகத் தெரிய வருகிறது. நம் கவனத்தைக் கவரும் இவ்விதி கெப்ளரால் பட்டறிவின் மூலம் தருவிக்கப்பட்டது. அனைத்து ஈர்ப்பு விதி கெப்ளரின் காட்சிப் பதிவுகளை விளக்கிக் கூறியது.

வானத்தில் ஒரு பொருள் மற்றொன்றைச் சுற்றி வட்டப் பாதையில் இயங்குவது பல சாத்தியக்கூறுகளில் ஒன்றாகும்.

ஈர்ப்பு விசைகளின் செயற்பாட்டினால், ஒரு பொருள் மற்றொன்றைச் சுற்றி இயங்கும் எறி பாதை வட்டப் பாதையிலிருந்து மிகவும் வித்தியாசமானதாய் இருக்கக் கூடும். ஆயினும், கணக்கீடுகள் காட்டுவது போலவும், கணக்கீடுகளுக்கு முன்னரே கெப்ளர் கண்டறிந்தது போலவும் இப்பாதைகள் அனைத்தும் நீள் வட்டங்கள் (ellipses) என அழைக்கப்படும் ஒரே வளை கோடுகளின் வகையைச் சேர்ந்தவையாகும்.

வரைபடக் காகிதம் ஒன்றின் மேல் இரண்டு ஊசிகளைக் குத்தி நிற்கச் செய்து, அவை இரண்டுடனும் சேர்த்து ஒரு நூலைக் கட்டவும். பென்சிலின் கூரிய முனையால் அந்நூலை நீட்டி, நூல் எப்பொழுதுமே நீட்டியிருக்குமாறு பென்சிலை நகர்த்திச் செல்லவும். முடிவில் காகிதத்தின் மீது வளை கோடு வரையப்பட்டிருக்கும். இதுவே நீள் வளையமாகும். (படம் 68) ஊசிகள் குத்தப்பட்டிருக்கும் புள்ளிகளே நீள் வட்டத்தின் குவியங்களாகும்.

நீள் வட்டங்கள் பல வடிவங்களைக் கொண்டிருக்கலாம். ஊசிகளுக்கிடையேயான தூரத்தைக் காட்டிலும், மிக அதிகமான நூலை உபயோகித்தால், வரையப்பட்ட நீள் வட்டம், வட்டத்தை ஒத்திருக்கும். இதற்கு மாறாக நூலின் நீளம், ஊசிகளுக்கிடையேயான தூரத்தைக் காட்டிலும் சற்றே அதிகமாயிருந்தால், கிட்டத்தட்ட ஒரு கம்பு



படம் 68

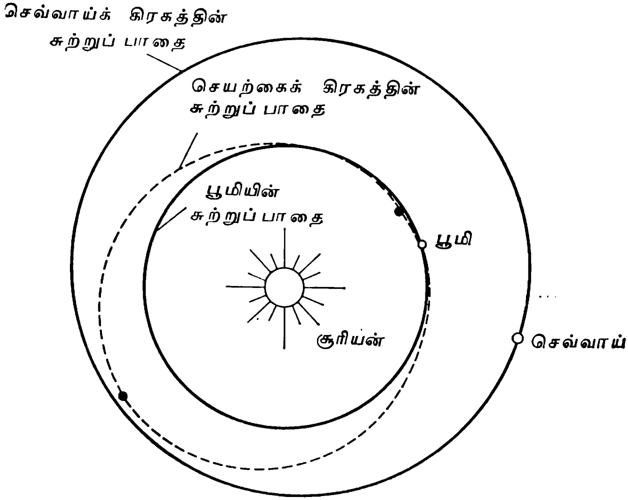
போன்ற நீட்டப்பட்ட நீள் வளையத்தை நாம் பெறுகிறோம்.

ஒரு கோள் நீள் வட்டப் பாதையில் இயங்குகிறது. இதன் குவியங்களில் ஒன்றில் சூரியன் அமைந்திருக்கிறது.

ஆனால் கோள்கள் எப்படிப்பட்ட நீள் வளையங்களில் சூரியனைச் சுற்றி வருகின்றன? அவை கிட்டத்தட்ட வட்டங்களை ஒத்திருப்பதாகத் தெரிய வருகிறது.

சூரியனுக்கு மிக அருகில் அமைந்திருக்கும் புதன் கிரகத்தின் பாதை வட்டத்தில் இருந்து அதிகமாக வேறுபட்டிருக்கிறது. ஆனால் இந்த உதாரணங்களிலுங்கூட நீள் வட்டத்தின் நீளமான விட்டம், குட்டையானதைக் காட்டிலும் 2% மட்டுமே கூடுதல் நீளமுடையதாக இருக்கிறது. செயற்கைக் கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகளைப் பொறுத்தமட்டில் இந்நிலை மாறுபட்டிருக்கிறது. படம் 69 ஐப் பார்க்கவும்—செவ்வாய்க் கிரகத்தின் சுற்றுப் பாதையை நாம் வட்டத்திலிருந்தும் வேறுபடுத்திக் கூற இயலாது.

ஆயினும், சூரியன் நீள் வட்டத்தின் மையத்தில் அமைந்திருக்காமல், அதன் இரு குவியங்களில் ஒன்றில் அமைந்திருப்பதால் சூரியனிலிருந்து கோளத்தின் தூரம் குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்கு மாறுகிறது. நீள் வட்டத்தின் இரு குவியங்களின் வழியாகச் செல்லுமாறு ஒரு கோடு வரையவும்.



படம் 69

இக்கோடு நீள் வட்டத்தை இரு இடங்களில் வெட்டுகிறது அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் புள்ளி சூரியனின் அண்மை நிலை எனவும், சூரியனுக்கு அப்பால் அமைந்திருக்கும் புள்ளி சேய்மை நிலை எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. புதன், அண்மை நிலையிலிருக்கும் பொழுது, சேய்மை நிலையில் இருப்பதைக் காட்டிலும் 1.5 மடங்கு சூரியனுக்கு அருகில் அமைந்திருக்கிறது.

பெரிய கோள்கள் வட்டத்துடன் அதிகமாக ஒத்திருக்கும் நீள் வட்டப் பாதைகளில் சூரியனைச் சுற்றிவருகின்றன. எனினும் அதிகமாக நீட்சியடைந்த நீள் வட்டப் பாதைகளில் சுற்றி இயங்கும் பொருட்களும் வானத்தில் இருக்கின்றன. இவற்றில் வால் நட்சத்திரங்களும் அடங்கியிருக்கின்றன. நீட்சியைப் பொறுத்த மட்டில் இவற்றின் சுற்றுப் பாதைகள் கோள்களின் நீள் வட்டங்களுடன் ஒப்பிட முடி

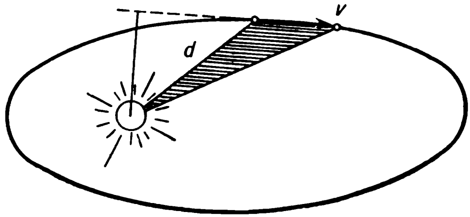
யாத அளவுக்கு அமைந்திருக்கின்றன. நீள் வட்டப் பாதைகளில் சூரியனைச் சுற்றி இயங்கும் கோள்களைச் சூரியக் குடும்பத்தைச் சேர்ந்தவை என நாம் குறிப்பிடலாம். இருப்பினும் சில சமயங்களில் புது முகங்களும் நமது குடும்பத்தினுள் நுழைந்து விடுகின்றன.

சூரியனைச் சுற்றி வளைவுப் பாதையில் இயங்கும் வால் நட்சத்திரங்கள் காட்சிப் பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. இப்பாதைகளின் அமைப்பு கீழ்வரும் முடிவுகளைக் குறிப்பாகக் கூறுகிறது. வால் நட்சத்திரம் திரும்பிச் செல்லாது. இவை சூரியத் தொகுதியின் குடும்பத்தைச் சேர்ந்ததல்ல. வால் நட்சத்திரங்கள் அமைக்கும் திறந்த வளைவுப் பாதைகள் உப்பரவளையங்கள் (hyperbolas) என அழைக்கப்படுகின்றன.

இத்தகைய வால் நட்சத்திரங்கள் சூரியனை அருகாமையில் கடந்து செல்லும் பொழுது பிரத்யேகமான அதிக வேகத்துடன் செல்கின்றன. இது நாம் புரிந்து கொள்ளக் கூடியதே! ஏனெனில் வால் நட்சத்திரங்களின் மொத்த ஆற்றல் மாறிலியாய் இருக்கிறது. ஆனால் சூரியனைக் கடந்து செல்லும் பொழுது இதன் நிலையாற்றல் சிறும மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆகவேதான் இச்சமயத்தில் இயக்க ஆற்றல் பெருமமாக இருக்கிறது. உண்மையில் பல்வேறு கோள்களுடனும், குறிப்பாகப் பூமியுடனும் கூட இவ்விளைவு ஏற்படுகிறது. இருப்பினும் இவ்விளைவு சிறியதாயிருக்கிறது. ஏனெனில் அண்மை நிலையிலும் சேய்மை நிலையிலும் உள்ள நிலையாற்றல்களின் வித்தியாசம் சிறியதாயிருக்கிறது.

கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதியிலிருந்து முக்கியமான இயக்க விதி ஒன்று தருவிக்கப்படுகிறது.

படம் 70—ல், ஒரு கோளின் இரு இட நிலைகள் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. சூரியனில் இருந்து, அதாவது நீள்



படம் 70

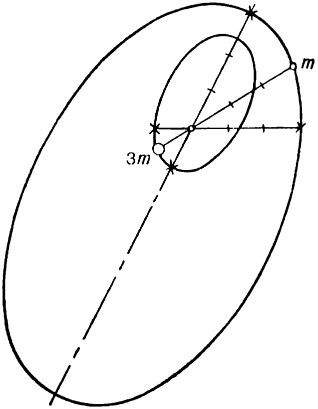
வட்டத்தின் ஒரு குவியத்திலிருந்து கோளின் இரு இட நிலைகளுக்கும் இரண்டு ஆரங்கள் வரைப்பட்டிருக்கின்றன. இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட வட்டப் பகுதி மைத் தீட்டிக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு விஞடியில் ஒரு ஆரம் வீசிச் சென்ற பரப்பளவை நாம் கணக்கிட வேண்டியதாயிருக்கிறது. கோணம் சிறியதாயிருக்கும் பொழுது, ஒரு விஞடியில் ஒரு ஆரம் வீசிச் சென்ற பரப்பளவை ஒரு முக்கோணத்தால் மாற்றீடு செய்யலாம். v என்னும் வேகம் (ஒரு விஞடியில் கடந்து சென்ற தூரம்) முக்கோணத்தின் அடிப்பாகமாக அமைகிறது. திசைவேகத்தின் நெம்புகோல் கரமாகிய (lever arm) d இம்முக்கோணத்தின் குத்துயரமாகும். ஆகவே இம்முக்கோணத்தின் பரப்பளவு $\frac{vd}{2}$ ஆகும்.

இயக்கத்தின் பொழுது mvd என்ற கணியம் மாறிலியாய் இருப்பது கோண உந்தத்தின் அழிவின்மை விதியிலிருந்து தெரிய வருகிறது. ஆனல் mvd மாறிலியாய் இருந்தால், முக்கோணத்தின் பரப்பளவாகிய $\frac{vd}{2}$—ம் அது போலவே மாறிலியாய் இருக்கிறது. ஒவ்வொரு விஞடி நேர இடைவெளியின் போதும் நாம் வட்டம் பகுதிகளை வரையலாம். இவையாவும் பரப்பளவில் சர்வசமமானவையாகும். கோளின் வேகம் மாறுகிறது. ஆனல் பரப்புத்திசைவேகம் (areal velocity) என அழைக்கப்படும் கணியம் மாருமலிருக்கிறது.

எல்லா நட்சத்திரங்களும் கோள்களின் தொகுதிகளால் சூழப்பட்டவை அல்ல. வானில் பல இரட்டை நட்சத்திரங்களும் இருக்கின்றன. வானத்தில் இரண்டு பெரிய பொருட்கள் ஒன்றையொன்று சுற்றி வருகின்றன.

சூரியன் மிக அதிகமான பொருண்மையுடையதாக இருப்பதால், சூரியனே அக்குடும்பத்தின் மையமாக அமைந்திருக்கிறது. இரட்டை நட்சத்திரங்களின் தொகுதியில், வானத்துப் பொருட்கள் இரண்டும் ஒரே அளவுள்ள பொருண்மைகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவ்வுதாரணத்தில், இரண்டு நட்சத்திரங்களில் ஒன்று ஓய்வு நிலையில் இருப்பதென நாம் தற்கோள் கொள்ளுவதில்லை. ஆனால் இச்சூழ்நிலையில் இயக்கம் எவ்வாறு தொடர்ந்து நடைபெறுகிறது? என்று கேள்வி எழலாம். மூடிய தொகுதி ஒவ்வொன்றும் ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் (அல்லது சீராக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும்) ஒரு புள்ளியைக் கொண்டிருக்கிறது என்பதை நாம் அறிவோம். இதுவே அத்தொகுதியின் பொருண்மை மையமாகும். இப்புள்ளியை மையமாகக் கொண்டு இரு நட்சத்திரங்களும் சுற்றுகின்றன. மேலும் அவை இரண்டும் வடிவொத்த நீள் வளையங்களில் இயங்குகின்றன. முன்னால் எழுதப்பட்ட $\frac{m_1}{m_2}=\frac{r_2}{r_1}$ என்னும் நிபந்தனையிலிருந்து இது தெரிய வருகிறது. ஒரு நட்சத்திரத்தின் பொருண்மை மற்றதைக் காட்டிலும் எத்தனை மடங்கு அதிகமானதாயிருக்கிறதோ, அத்தனை மடங்குகள் முதல் நட்சத்திரத்தின் நீள் வட்டம் மற்றதைக் காட்டிலும் பெரியதாயிருக்கிறது (படம் 71). பொருண்மைகள் சமமாயிருக்கும் சூழ்நிலையில் இரண்டு நட்சத்திரங்களும் பொருண்மை மையத்தைச் சுற்றி சர்வசமமான பாதையில் இயங்குகின்றன.

சூரியக் குடும்பத்தில் அடங்கிய கோள்கள் இயல்பான (ideal) சூழ்நிலைகளின் கீழ் அமைந்திருக்கின்றன. அவை உராய்வின் செயற்பாட்டுக்கு உட்படுத்தப்படுவதில்லை.



படம் 71

மனிதர்களால் உருவாக்கப்பட்டு வானத்தில் அமைந்திருக்கும் ஸ்புட்னிக் எனப்படும் சிறிய செயற்கைப் பொருட்கள் இப்படிப்பட்ட இயல்பான சூழ்நிலையின் கீழ் இருப்பதில்லை. ஆரம்பத்தில் உராய்வு விசைகள் குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்கு இல்லாதிருந்தாலும், பின்னர் அவை அவற்றின் இயக்கங்களின் போக்கைத் தீர்மானிக்கும் அளவுக்குச் செயல்படுகின்றன.

ஒரு கோளின் மொத்த ஆற்றல் மாறிலியாயிருக்கிறது. ஸ்புட்னிக்கின் மொத்த ஆற்றல் ஒவ்வொரு சுற்றுக்குப் பின்னரும் சிறிதளவு குறைகிறது. முதலில் உராய்வு, ஸ்புட்னிக்கின் இயக்க வேகத்தைக் குறைத்துவிடும் எனத் தோன்றலாம். உண்மையில் இதற்கு எதிர் விளைவே ஏற்படுகிறது.

ஸ்புட்னிக்கின் வேகம் $\sqrt{gR}$ அல்லது $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது என்பதை நாம் ஞாபகப்படுத்திக் கொள்வோம். இதில் R என்பது பூமியின் மையத்திலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற தூரமாகவும், M என்பது பூமியின் பொருண்மையாகவும் இருக்கின்றன.

ஸ்புட்னிக்கின் மொத்த ஆற்றல்

$$E = -\frac{GMm}{R} + \frac{mv^2}{2} \text{ க்குச்}$$

சமமாயிருக்கிறது.

நாம், ஸ்புட்னிக்கின் வேகத்தின் மதிப்பை மாற்றீடு

செய்தால், இயக்க ஆற்றலின் எண்ணுருக்கோவையாகிய $\frac{GMm}{2R}$ ஐ நாம் பெறுகிறேம். இயக்க ஆற்றலின் மதிப்பு, நிலையாற்றலின் தனி மதிப்பில் பாதியாக இருப்பதை நாம் காண்கிறேம். மொத்த ஆற்றல் $E = -\frac{GMm}{2R}$ —க்குச் சம மாயிருக்கிறது.

உராய்வு செயல்படும் பொழுது, மொத்த ஆற்றல் குறைகிறது. அதாவது (இது எதிர்க் குறியீடுடையதாயிருப் பதால்) இதன் தனி மதிப்பு அதிகரிக்கிறது. R என்ற தூரம் குறைய ஆரம்பிக்கும். ஸ்புட்னிக் கீழே இறங்குகிறது. இதைத் தொடர்ந்து ஆற்றலின் கூறுகளுக்கு என்ன நேரிடும் நிலையாற்றல் குறைகிறது (தனி மதிப்பு அதிகமாகிறது), இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகிறது.

எப்படியாயினும் நிகர மாறுதல் எதிர்க் குறியீடுடைய தாயிருக்கிறது. ஏனெனில் இயக்க ஆற்றலின் அதிகரிப்பைப் போல இரு மடங்கு வேகத்தில் நிலையாற்றல் குறைகிறது.

உராய்வு, ஸ்புட்னிக்கின் இயக்க வேகத்தை அதிகமாக்குவதற்கு உதவியாய் இருக்கிறதே தவிர, அதன் எதிர் முடுக்கத்துக்குக் காரணமாய் அமைவதில்லை.

பெரிய ஏவுகலம், சிறு ஸ்புட்னிக் ஒன்றைக் காட்டி லும் வேகமாகப் பறக்கிறது. ஏன்? என்ற கேள்வியின் பதில் இப்பொழுது நமக்குத் தெளிவாகிறது. பெரிய ராக்கெட் டின் மீது செயல்படும் உராய்வு அதிகமாயிருக்கிறது.

சந்திரன் இல்லாமலிருந்தால்

சந்திரன் இல்லாமலிருந்தால் புலவர்களும் காதலர்களும் எதிர் நோக்கும் துக்கமான விளைவுகளைப் பற்றி நாம் விவாதிக் கப் போவதில்லை. இப்பிரிவின் தலைப்பைக் கவிதை நயமின்

றிப் புரிந்து கொள்ள வேண்டும். சந்திரன், பூமியின் இயந் திரவியலை எவ்வாறு பாதிக்கிறது?

ஒரு மேசையின் மேல் இருக்கும் புத்தகத்தின் மீது என் னென்ன விசைகள் செயல்படுகின்றன? என்ற நமது முன் னைய விவாதத்தின் போது, நாம் கீழ்வருமாறு திட்டமா கக் கூறினோம். ''பூமியின் ஈர்ப்பு விசையின் வினையும் புத்த கத்தின் எதிர் வினையும்''. ஆனால் மிகச் சரியாகக் கூறினால் மேசையின் மேல் இருக்கும் புத்தகம், சந்திரன், சூரியன் முதலியவற்றாலும், ஏன் நட்சத்திரங்களாலும் கூட ஈர்க்கப்படு கின்றது.

சந்திரன்தான் நமக்கு மிகவும் அருகாமையிலிருக்கிறது. சூரியனையும் நட்சத்திரங்களையும் நாம் மறந்து விடுவோம். சந்திரனின் செயற்பாட்டினால், பூமியில் உள்ள ஒரு பொரு ளின் எடை எவ்வவு மாறுதலடைகிறது என்பதைப் பரிசீ லிப்போம்.

பூமியும் சந்திரனும் ஒன்றுக்கொன்று சார்பான இயக் கத்தில் ஈடுபட்டிருக்கின்றன. சந்திரனுக்குச் சார்பாகப் பூமி முழுவதுமாக (பூமியின் எல்லாப் புள்ளிகளும்) $\frac{Gm}{r^2}$ என்னும் முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது. இதில் m என்பது சந்திர னின் பொருண்மையாகவும், r என்பது சந்திரனின் மையத் திலிருந்து பூமியின் மையம் வரைக்கான தூரமாகவும் இருக் கின்றன.

பூமியின் மேற்பரப்பில் அமைந்திருக்கும் ஒரு பொருளைக் கவனிக்கவும். சந்திரனின் செயற்பாட்டினால் இதன் எடை எவ்வளவு மாறுதலடைகிறது என்பதில் நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கிறோம். பூமிக்குச் சார்பான முடுக்கத்தால் பூமி சார்ந்த (terrestrial) எடை வரையறுக்கப்படுகிறது. வேறுவிதமாகக் கூறினால், பூமியின் மேற்பரப்பில் அமைந் திருக்கும் பொருளின் பூமிக்குச் சார்பான முடுக்கம் சந்திர

ளின் செயற்பாட்டால் எவ்வளவு மாறுதலடைகிறது என் பதில் நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கிறேம்.

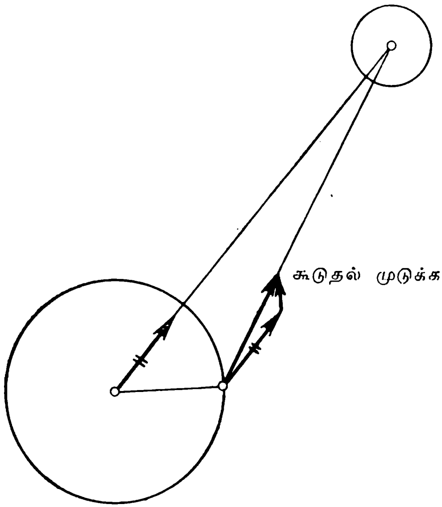
சந்திரனுக்குச் சார்பான பூமியின் முடுக்கம் $\frac{Gm}{r^2}$ ஆகும். பூமியின் மேற்பரப்பில் அமைந்திருக்கும் பொருளின் சந் திரனுக்குச் சார்பான முடுக்கம் $\frac{Gm}{r^2}$ ஆகும். இதில் r_2 என்பது சந்திரனிலிருந்து பொருள் அமைந்திருக்கும் தூரமா கும் (படம் 72).

ஆனால் பூமிக்குச் சார்பான பொருளின் கூடுதல் முடுக் கம் நமக்குத் தேவையாயிருக்கிறது. இது தகுந்த முடுக் கங்களின் வடிவ இயல் வித்தியாசத்துக்குச் சமமாயிருக்கும்.

பூமியைப் பொறுத்தவரையில், $\frac{Gm}{r^2}$ன்மதிப்பு மாறிலி யாய் இருக்கிறது. ஆனால் $\frac{Gm}{r^2}$—ன் மதிப்பு, பூமியின் மேற் பரப்பின் மீது ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் வித்தியாசப்படுகிறது. நமக்குத் தேவைப்படுகிற வடிவ இயல் வித்தியாசம் பூமி யின் வெவ்வேறு இடங்களில் வித்தியாசமாயிருக்கும்.

சந்திரனுக்கு மிக அருகாமையிலும், வெகு தூரத்திலும், பூமியின் மேற்பரப்பை நோக்கிய பாதி தூரத்திலும் அமைந் திருக்கும் புள்ளிகளில் பூமி சார்ந்த எடை என்னவாயிருக் கும்?

ஒரு பொருளின் மீது சந்திரன் செயற்படுத்தும், பூமி யின் மையத்துக்குச் சார்பான முடுக்கத்தைக் கண்டுபிடிப் பதற்கு, அதாவது பூமி சார்ந்த g ன் திருத்தத்தைக் கண் டுபிடிப்பதற்குப் பூமியில் குறிப்பிடப்பட்ட (படம் 73ல் மெல்லிய அம்புகளால்) இடங்களில், $\frac{Gm}{r^2}$ —ன் மதிப்பி லிருந்து மாறிலியாகிய $\frac{Gm}{r^2}$ —ஐக் கழிக்க வேண்டியது அவ சியமாயிருக்கிறது. மேலும் சந்திரனை நோக்கிய பூமியின்



படம் 72

முடுக்கமாகிய $\frac{Gm}{r^2}$ இவற்றின் மையங்களைச் சேர்க்கும் கோட்டுக்கு இணையாக அமைந்திருக்கிறது என்பதை ஞாபகத்தில் கொள்ள வேண்டும். ஒரு திசையுளியைக் கழிப்பது, அதன் தலைகீழ்த் திசையுளியைக் கூட்டுவதற்குச் சமமாகும். படத்தில்— $\frac{Gm}{r^2}$ என்னும் திசையுளிகள் தடித்த அம்புகளால் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன.

படத்தில் விவரிக்கப்பட்டிருக்கும் திசையுளிகளைக் கூட்டும் பொழுது, சந்திரனின் செயற்பாட்டின் விளைவாகப் பூமியின் மேற்பரப்பில் நிகழும் சுய வீழ்ச்சியின் முடுக்கத்தில் தோன்றும் மாற்றங்களில் நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கிறோம் என்பதை அறிகிறோம்.

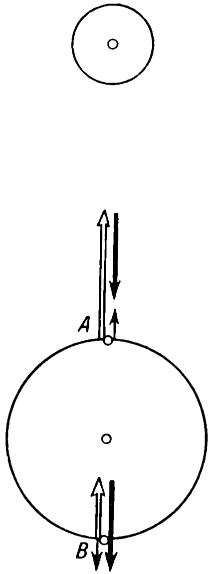
சந்திரனுக்கு மிக அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் இடத்தில் செயல்படும் கூடுதல் முடுக்கம், $\frac{Gm}{(r-R^2)} - \frac{m}{r^2}$ க்குச்

சமமாகவும், சந்திரனை நோக்கிய திசையையும் கொண்டிருக்கும். பூமியின் ஈர்ப்பு குறைகிறது. A என்ற புள்ளியில் இருக்கும் ஒரு பொருள் சந்திரன் இல்லாமலிருக்கும் பொழுது இருந்ததைக் காட்டிலும் குறைந்த எடையைக் கொண்டிருக்கும்.

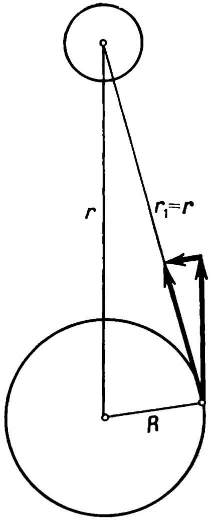
R என்பது r ஐக் காட்டிலும் மிகச் சிறியதாயிருக்கிறது என்பதை மனதில் கொண்டு, மேலே எழுதப்பட்ட சூத்திரத்தை நாம் எளிய வடிவில் எழுதலாம். பொதுவான பகுதிக்குக் கொண்டு வந்தால் நாம் $\frac{GmR\,(2r - R)}{r^2\,(r - R)^2}$ என்னும் வடிவத்தைப் பெறுகிறோம்.

அடைப்புக் குறியினுள் மிகவும் அதிக எண்மதிப்புடைய r அல்லது $2r$ லிருந்து கழிக்கப்படும், மிகக் குறைந்த சார்பு எண்மதிப்பைக் கொண்டுள்ள R ஐ நீக்கி விட்டால், $\frac{2\,GmR}{r^3}$ என்பதை நாம் அடைகிறோம்.

இப்பொழுது நாம் பூமியின் எதிர் முகட்டுக்குத் திரும்புவோம். B என்ற புள்ளியில் அமைந்திருக்கும் பொருள் மீது சந்திரன் செயற்படுத்தும் முடுக்கம் பூமியின் முடுக்கத்தைக் காட்டிலும் அதிகமாக இல்லாமல் குறைவாகவே இருக்கிறது. ஆனால் சந்திரனிலிருந்து நாம் பூமியில் வெகு தூரத்தில் இருக்கிறோம். பூமியின் இப்பகுதியில் ஏற்படும் சந்திரனின் ஈர்ப்புக் குறைவு A என்ற புள்ளியில் ஏற்பட்ட ஈர்ப்பின் அதிகரிப்பு ஏற்படுத்திய அதே விளைவையே, அதாவது ஈர்ப்பு முடுக்கத்தில் குறைவையே உண்டாக்குகிறது. இது எதிர்பாராத முடிவு அல்லவா? சந்திரனின் செயற்பாட்டினால் இங்கேயும் பொருட்கள் இலேசானதாகத் தோன்றுகின்றன. $\frac{Gm}{(r + R^2)} - \frac{Gm}{r^2} \simeq -\frac{2\,GmR}{r^3}$ என்னும் வித்தியாசம் A என்ற புள்ளியில் கொண்டிருந்த அதே மதிப்பையே கொண்டிருப்பது தெரிய வருகிறது.



படம் 73



படம் 74

நடுக்கோட்டில் நிலைமை வேறுபட்டிருக்கிறது. இங்கு முடுக்கங்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஒரு கோணத்தில் அமைந்திருக்கின்றன. சந்திரன், பூமி முழுமையின் மீதும் செயல்படுத்தும் முடுக்கமாகிய $\frac{Gm}{r^2}$ லிருந்து, சந்திரன் பூமியின் மீது அமைந்திருக்கும் ஒரு பொருளின் மீது செயல்படுத்தும் முடுக்கமாகிய $\frac{Gm}{r_1^2}$ ஐக் கழிப்பது, வடிவியல் முறையில் செய்யப்பட வேண்டும் (படம் 74).

r_1, r ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் சமமாயிருக்கும்படியாக ஒரு பொருளைப் பூமியின் மீது வைப்பதினால் நாம் குறிக்க

முடியாத அளவுதான் நடுக்கோட்டிலிருந்தும் விலகியிருக்கிறோம். முடுக்கங்களின் திசையுளி வித்தியாசம் இரு சம பக்க முக்கோணத்தின் அடிப்பக்கமாக அமைகிறது. படம் 74ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கும் முக்கோணங்களின் வடிவொத்த தன்மையிலிருந்து, r ஐ விட R எத்தனை மடங்கு சிறியதாயிருக்கிறதோ அத்தனை மடங்குகள், நமக்குத் தேவையாயிருக்கிற முடுக்கம், $\frac{Gm}{r^2}$ —ஐக் காட்டிலும் குறைவாயிருக்கும் என்பது வெளிப்படையாகத் தெரிகிறது. இதன் விளைவாக, பூமியின் மேற்பரப்பில் நடுக்கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கும் இடத்தில் ஏற்படும் g ன் கூடுதல், எண் மதிப்பில் $\frac{GmR}{r^3}$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இது, கோடிப் புள்ளிகளில் ஏற்படும் பூமியின் ஈர்ப்பு விசைகளின் பலவீனத்தில் பாதியாயிருக்கிறது. இக்கூடுதல் முடுக்கத்தின் திசையைப் பொறுத்தமட்டில், படத்தில் பார்ப்பது போலத் திரும்பவும் செயல்முறை ரீதியாகப் பூமியின் அக்குறிப்பிட்ட புள்ளியின் வழியே செல்லும் நிலைக்குத்துக் கோட்டுடன் ஒன்றியிருக்கிறது. இது கீழ் நோக்கியே அமைந்திருக்கிறது. அதாவது எடை அதிகரிப்புக்கு வகை செய்கிறது.

இவ்வாறு பூமி சார்ந்த இயந்திரவியலில் சந்திரனின் செயற்பாடு, பூமியின் மேற்பரப்பில் இருக்கும் பொருட்களின் எடையை மாற்றுகிறது. மேலும் சந்திரனுக்கு மிக அருகாமையிலும் வெகு தூரத்திலும் அமைந்திருக்கும், பூமியின் புள்ளிகளில் பொருளின் எடை குறைந்திருக்கிறது. ஆனால் நடுக்கோட்டில் பொருளின் எடை அதிகமாயிருக்கிறது. இரண்டாவதில் ஏற்படும் எடையில் மாறுதல் முந்தியதில் பாதியாயிருக்கிறது.

உண்மையில், எந்தக் கோளாயினும், சூரியனாயினும், நட்சத்திரமாயினும் நாம் பயன்படுத்திய வாதங்கள் ஏற்றவையாயிருக்கின்றன.

ஏதேனும் ஒரு கோள் அல்லது நட்சத்திரம், சந்திரன் செயல்படுத்தும் முடுக்கத்தில் குறிக்கப்பட முடியாத சிறு பகுதியையேனும் உண்டாக்குவதில்லை என்பதைக் கணக்கிட்டுக் காட்டுவது கடினமல்ல.

வானில் இருக்கும் எந்தப் பொருளின் செயற்பாட்டையும் சந்திரனுடையதோடு ஒப்பிடுவது மிகவும் எளிதாயிருக்கிறது. இப்பொருள் செயல்படுத்தும் கூடுதல் முடுக்கத்தை நாம் சந்திரனின் கூடுதலால் வகுக்க வேண்டும். நாம் பெறுகிறோம்.

$$\frac{GmR}{r^3} : \frac{Gm_{சந்திரன்}R}{r^3_{சந்திரன்}} ; \frac{m}{m_{சந்திரன்}} \cdot \frac{r^3_{சந்திரன்}}{r^3}$$ என்பதை

நாம் பெறுகிறோம்.

சூரியனை உதாரணமாக எடுத்துக் கொண்டால், இப் பெருக்குத்தொகை ஒன்றைவிட மிகக் குறைவாயிருப்பதில்லை. சந்திரனைக் காட்டிலும், சூரியனே நம்மிடமிருந்து வெகு தூரத்தில் இருக்கிறது. ஆனால் சந்திரனின் பொருண்மை பூமியின் பொருண்மையைக் காட்டிலும் பத்து மில்லியன் மடங்குச் சிறியதாகும்.

எண்மதிப்புகளை மாற்றீடு செய்தால், பூமி சார்ந்த எடை சூரியனின் செயற்பாட்டின் கீழ் மாறுவதைப் போன்று 2.17 மடங்கு அதிகமாக சந்திரனின் செயற்பாட்டின் கீழ் மாறுகிறது என்பதை நாம் காண்கிறோம்.

பூமியைச் சுற்றி அமைந்திருக்கும் சுற்றுப் பாதையிலிருந்து சந்திரன் விடுபட்டுச் சென்று விட்டால், பொருளின், பூமி சார்ந்த எடைகள் எவ்வளவு மாறுதலடைகின்றன என்பதை நாம் மதிப்பிடுவோம். $\frac{2\,GmR}{r^3}$ என்ற சூத்திரத்தில் எண்மதிப்புகளை மாற்றீடு செய்து, சந்திரன் செயல்படுத்

தும் முடுக்கம் 0.001 செ.மீ/விஞடி என்ற அளவைக் கொண்டிருக்கிறது (அதாவது g யின் மதிப்பில் பத்து மில்லியனில் ஒரு பகுதி) என்பதை நாம் காண்கிறோம்.

இது கிட்டத்தட்ட பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. இத்தகைய குறிக்கப்பட முடியாத ஒரு விளைவுக்காக, மிகுந்த பிரயாசத்துடன் கூடிய கவனம் செலுத்தி, சிக்கலான இயந்திரவியல் பிணக்குகளின் தீர்வை அடைய வேண்டியது அவசியம் தானு? என்ற கேள்வி எழுவது இயல்பே! அவசரப்பட்டு இத்தகைய முடிவுக்கு வர வேண்டாம். மிகுந்த ஆற்றலுடன் கூடிய கடல் அலைகள் தோன்றுவதற்கு இக்குறிக்கப்பட முடியாத விளைவே காரணமாகும். இவ்விளைவு மிக அதிக பொருண்மையுடைய நீரை இயக்கி, தினமும் 10 கி.கி.வி.மீ அளவுள்ள இயக்க ஆற்றலை உண்டாக்குகிறது. இவ்வாற்றல் பூமியில் ஓடும் அனைத்து ஆறுகளின் ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

உண்மையில் நாம் கணக்கிட்ட கணியத்தின் விகித அளவு மாறுதல் மிகவும் சிறியதாக இருக்கிறது. இத்தகைய ''குறிக்கப்பட முடியாத'' அளவுக்கு எடை குறைவடையும் ஒரு பொருள், பூமியின் மையத்திருந்து சிறிது வெளி நோக்கி நகர்கிறது. ஆனுல் பூமியின் ஆரம் 6000000 மீட்டராகும். குறிக்கப்பட முடியாத விலக்கம் பத்து செ.மீ களின் மடங்குகளில் அளக்கப்படும்.

சந்திரன், பூமிக்குச் சார்பான, அதன் இயக்கத்தை நிறுத்தி விட்டு கடலின் மேல் ஏதாவது ஒரு இடத்திலிருந்து பிரகாசித்துக் கொண்டிருப்பதாகக் கற்பனை செய்யவும். அந்த இடத்தில் தண்ணீரின் மட்டம் 54 செ.மீ உயரும் என்பதைக் கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. பூமியின் எதிர் முகட்டிலும் நீர் மட்டத்தில் இவ்வாறு எழுச்சி ஏற்படுகிறது. இக்கோடிப் புள்ளிகளுக்கு நடுவில் அமைந்திருக்கும்

நடுக்கோட்டில் கடலின் நீர் மட்டம் 27 செ.மீ கீழிறங்கு கிறது.

அதன் அச்சை மையமாகக் கொண்ட பூமியின் சுழற்சிக்கு நாம் நன்றி சொல்ல வேண்டும். கடல் மட்டத்தில் வீழ்ச்சியும் எழுச்சியும் உண்டாகும் இடங்கள் எப்பொழுதும் இயங்கிக் கொண்டேயிருக்கின்றன. இவையே பேரலையாகும். கிட்டத்தட்ட ஆறு மணி நேரத்தில் நீர் மட்டம் மேல் நோக்கி எழுச்சி பெற்று, தண்ணீர் கரையின் மீது ஏறிச் செல்கிறது.இதுவே எழுச்சி மிக்க அலைகள் (high tide) எனப்படுகின்றன. பின்னர் தாழ்வான அலைகள் (low tide) ஏற்பட்டு, இதுவும் 6 மணி நேரம் நீடித்திருக்கிறது. ஒவ்வொரு பௌர்ணமி நாளின் போதும், இரண்டு எழுச்சி மிக்க அலைகளும், இரண்டு தாழ்வான அலைகளும் ஏற்படுகின்றன. தண்ணீர்த் துகள்களின் உராய்வு, கடல் அடிப்பாகத்தின் அமைப்பு, கரையின் வளைவு அமைப்பு ஆகியவற்றால் கடல் எழுச்சி இயற்பாடு மிகவும் சிக்கலாக்கப்படுகிறது.

உதாரணமாக, கடலின் மேற்பரப்பு முழுவதும் ஒரே நிலைகளுக்கு உட்படுத்தப்பட்டிருப்பதால் காஸ்பியன் கடலில் அலைகளே எழுவதில்லை.

நீளமான, அதே நேரத்தில் குறுகலான ஜலசந்தியால் கடலுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் உட்புற கடலிலும் உதாரணமாகக் கருங்கடலிலும், பால்டிக் கடலிலும் அலைகள் தோன்றுவதில்லை.

குறிப்பாகச் சற்று குறுகலான விரிகுடாக்களில் பெரிய அலைகள் தோன்றுகின்றன. இங்கு கடலிலிருந்து விரிகுடாவினுள் நுழையும் அலைகள் மிகவும் செங்குத்தாக மேலெழுகின்றன. உதாரணமாக, ஒகோட்ஸ்க் என்னும் கடலில் அமைந்திருக்கும் கிஜிகின்ஸ்காயா என்னும் நுழைவாயிலில் அலைகளின் உயரம் சில மீட்டர்களை எட்டுகிறது.

கடற்கரை போதுமான அளவு தட்டை வடிவமாய் இருந்

தால் (உதாரணமாக பிரான்சில் இருப்பது போல) அலையெழுச்சியின் போது தண்ணீரின் எழுச்சி நிலப் பகுதியையும் கடலையும் பிரிவீடு செய்யும் எல்லையைப் பல கிலோமீட்டர்கள் தூரம் மாற்றியமைத்து விடுகிறது.

அலையெழுச்சியின் இயற்பாடுகள் பூமியின் சுழற்சிக்குத் தடையாய் அமைகின்றன. ஏனெனில் அலைகளின் எழுச்சி இயக்கம் உராய்வுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வுராய்வைச் சமாளிப்பதற்கு வேலை செய்யப்பட்டிருக்க வேண்டும். இதுவே அலையெழுச்சி உராய்வு எனப்படும். ஆகவே சுழற்சி ஆற்றலும், அதனுடன் பூமியின் அச்சை மையமாகக் கொண்டு நிகழும் சுழற்சி வேகமும் வீழ்ச்சியடைகின்றன.

இவ்வியற்பாடு ஒரு நாளின் கால நேரம் நீட்டிக்கப்படுவதற்குக் காரணமாக அமைகிறது.

சந்திரனின் ஒரு பக்கம் மட்டுமே எப்பொழுதும் பூமியை நோக்கி இருக்கிறது. ஏன்? என்பதைப் புரிந்து கொள்வதற்கு அலையெழுச்சி உராய்வு நமக்கு உதவுகிறது.

ஒரு காலத்தில் சந்திரன் திரவ நிலையில் இருந்தது. பூமிக்குச் சார்பான இத்திரவக் கோளத்தின் சுழற்சியுடன் சேர்ந்து ஏற்பட்ட பலமான அலையெழுச்சியின் உராய்வு படிப்படியாகச் சந்திரனின் இயக்கத்தைக் குறைத்து விட்டது. முடிவில் சந்திரன், பூமிக்குச் சார்பாகச் சுற்றுவதை நிறுத்தி விட்டது. அலையெழுச்சிகள் ஓய்ந்தன. சந்திரன், அதன் மேற்பரப்பில் பாதியை நம் பார்வையிலிருந்து மறைந்து விட்டது.

எட்டு

அழுத்தம்

நீரியல் அழுத்தி (hydraulic press)

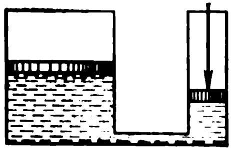
நீரியல் அழுத்தி பழங்காலத்திய இயந்திரமாகும்; ஆனல் இது தற்காலத்திலும் இதன் முக்கியத்துவத்தைத் தக்க வைத்துக் கொண்டுள்ளது.

நீரியல் அழுத்தி ஒன்று விவரிக்கப்படிருக்கும் படம் 75 ஐப் பார்க்கவும். தண்ணீரைக் கொண்டுள்ள பாத்திரத்தில், ஒன்று சிறியதும் மற்ருென்று பெரியதுமான இரு உந்துத் தண்டுகள் இயங்க முடிகிறது. ஒரு உந்துத் தண்டை நம் கையால் அழுத்திஞல், அடுத்த உந்துத் தண்டுக்கு அழுத்தம் செலுத்தப்பட்டு, அது மேலெழுகிறது. பாத்திரத்தில் முதல் உந்துத் தண்டு கீழ் நோக்கி அழுத்தும் அதே அளவு தண்ணீர் இரண்டாவது உந்துத் தண்டின் ஆரம்ப நிலைக்கு மேல் எழுகிறது.

உந்துத் தண்டுகளின் பரப்பளவு முறையே S_1, S_2 ஆகவும் அவற்றின் இடப்பெயர்ச்சிகள் முறையே l_1, l_2 ஆகவும் இருந்தால், கன அளவுகளின் சமநிலை, $S_1l_1=S_2l_2$ அல்லது $\frac{l_1}{l_2}=\frac{S_2}{S_1}$ என்பதைத் தருகிறது.

உந்துத் தண்டுகளின் சமநிலைக்கான நிபந்தனையை நாம் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். நடுநிலைப்படுத்துகிற விசைகள் ஆற்றிய வேலை பூச்சியத்துக்குச் சமமாய் இருத்தல் வேண்டும் என்ற உண்மையிலிருந்து தொடங்கி, இத்தகைய நிபந்தனையை

எளிதில் கண்டுபிடிக்கலாம். இப்படியிருந்தால், உந்தங்களின் இடப்பெயர்ச்சியின் போது, அவற்றின் மீது செயல்படுத்தப்படுகின்ற விசைகள் செய்யும் வேலைகள் சமமாயிருத்தல் (எதிர்க் குறியீடுகளுடன்) அவசியமாயிருக்கிறது. ஆகவே



படம் 75

$$F_1l_1=F_2l_2 \text{ அல்லது } \frac{F_2}{F_1}=\frac{l_2}{l_1}$$

முந்திய சமன்பாட்டுடன் இதை ஒப்பிடும் பொழுது $\frac{F_2}{F_1}=\frac{S_2}{S_1}$ என்ற சமன்பாட்டை நாம் பார்க்கிறோம்.

விசை, பெரிய அளவில் பெருக்கப்படுவதன் சாத்தியக் கூற்றை இவ்வெளியச் சமன்பாடு குறிப்பாகக் கூறுகிறது. அழுத்தத்தைப் பரப்பக் கூடிய உந்துத் தண்டு, நூறு அல்லது ஆயிரம் மடங்குகள் குறைந்த பரப்பளவைக் கொண்டிருக்க முடியும். பெரிய உந்துத் தண்டின் மீது செயல்படும் விசை, நாம் செலுத்தும் தசை விசையை விட அத்தனை மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கின்றன.

நீரியல் அழுத்தி ஒன்றின் உதவியால் உலோகங்களைத் துளையிடுவது, திராட்சைப் பழங்களிலிருந்து ரசத்தை வெளியேற்றுவது, எடைகளை மேலே தூக்குவது ஆகிய வேலைகள் சாத்தியமாகின்றன.

விசையின் லாபம், பாதையின் இழப்புடன் சேர்ந்து ஏற்படுகிறது. அழுத்தும் கருவி ஒன்றின் உதவியுடன் ஒரு பொருளை 1 செ.மீ இறுக்க வேண்டுமானால், F_2, F_1 ஆகிய விசைகள், ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று வேறுபட்டிருக்கும் அத்தனை மடங்குகள் அதிக நீளமான பாதையை நமது கை கடந்து செல்ல வேண்டியதிருக்கும்.

விசைக்கும் பரப்பளவுக்கும் இடையேயான விகிதமாகிய $\frac{F}{S}$ ஐ, இயற்பியல் அறிஞர்கள் அழுத்தம் என அழைக்கிறார்கள். ஒரு கிலோகிராம் விசை, ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பளவின் மீது செயல்படுகிறது என்று கூறுவதற்கு பதிலாக, p என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும் அழுத்தம் 1 கி.கி.வி/செ.மீ ஆகும் என மிகச் சுருக்கமாக நாம் கூறுகிறோம். $\frac{F_2}{F_1}=\frac{S_2}{S_1}$ என்ற சமன்பாட்டுக்குப் பதிலாக, இப்பொழுது $\frac{F_2}{S_2}=\frac{F_1}{S_1}$ அதாவது $p_1=p_2$ என நாம் எழுதலாம்.

ஆகவே இரண்டு உந்துத் தண்டுகளின் மீதும் செயல்படும் அழுத்தங்கள் சமமாகும்.

நமது விவாதம், உந்துத் தண்டுகள் எந்த இடத்தில் அமைந்திருக்கின்றன, அல்லது அவற்றின் மேற்பரப்புகள், கிடைமட்டத்தில் இருக்கின்றனவா, செங்குத்தாக இருக்கின்றனவா, சாய்ந்திருக்கின்றனவா என்பனவற்றைச் சார்ந்ததல்ல. பொதுவாக இது உந்துத் தண்டுகளைப் பொறுத்ததல்ல. கொள்கை ரீதியாக, ஒரு திரவத்தை மூடியிருக்கும் பரப்பின் எந்த இரு பகுதிகளையும் நாம் தெரிவு செய்து, அவற்றின் மீது செயல்படும் அழுத்தங்கள் சர்வசமமாக இருக்கின்றன என்பதை நிரூபிக்கலாம்.

ஆகவே, திரவத்தினுள் செயல்படும் அழுத்தம் எல்லாப் புள்ளிகளிலும், எல்லாத் திசைகளிலும் சர்வசமமாக இருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. வேறுவிதமாகக் கூறினால், ஒரு குறிப்பிட்ட வடிவத்தையுடைய பரப்பளவுத் துண்டுகள் எங்கே, எப்படி அமையப் பெற்றிருந்தாலும் அவற்றின்மீது செயல்படும் விசைகள் சர்வசமமாயிருக்கின்றன. இவ்வுண்மையே **பாஸ்கல் விதி** என அழைக்கப்படுகிறது.

நீர் விசை நிலைப்பு அழுத்தம்

பாஸ்கல் விதி, திரவங்களுக்கும் வாயுக்களுக்கும் பொருந்துகிறது. இருப்பினும் ஒரு முக்கியமான சூழ்நிலையாகிய எடை இருத்தலை—இது கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளவில்லை.

பூமியில் இருக்கும் சூழ்நிலைகளின் கீழ் இது மறுக்கப் படக் கூடாத ஒன்றாகும். தண்ணீர்கூட எடையைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆகவே தண்ணீரின் கீழ் இரு வித்தியாசமான ஆழங்களில் அமைந்திருக்கும் இரு பரப்பளவுத் துண்டுகள் வித்தியாசமான அழுத்தங்களை உணர்கின்றன என்பது வெளிப்படையாகத் தெரிய வருகிறது. ஆனால் இவ்வித்தியாசம் எதற்குச் சமமாயிருக்கிறது? ஒரு திரவத்தினுள் கிடைமட்டத்திலிருக்கும் அடிப்பாகத்தைக் கொண்ட செங்குத்து உருளை ஒன்றைக் கொள்கை ரீதியாக நாம் தனிமைப் படுத்துவோம். இதனுள் இருக்கும் தண்ணீர் சுற்றியிருக்கும் தண்ணீரின் மீது அழுத்துகிறது. இந்த அழுத்தத்தின் தொகுபயன் விசை, உருளையினுள் இருக்கும் திரவத்தின் எடையாகிய mg க்குச் சமமாயிருக்கிறது (படம் 76). இத் தொகுபயன் விசை உருளையின் அடிப்பக்கம், மேல்பக்கம் பக்கவாட்டுப் பரப்புகள் ஆகியவற்றின் மீது செயல்படும் விசைகளினால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆனால் பக்கவாட்டுப் பரப்புகளின் எதிர்ப் பக்கங்களில் செயல்படும் விசைகள் எண்மதிப்பில் சமமாகவும், எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல் படுவனவாகவும் இருக்கின்றன. ஆகவே பக்கவாட்டுப் பரப்பில் செயல்படும் விசைகளின் கூட்டுத்தொகை பூச்சியத் துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆகவே mg என்னும் எடை, விசைகளின் வித்தியாசமாகிய $F_2 - F_1$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. உருளையின் உயரம், அடிப்பாகத்தின் பரப்பளவு, திரவத்தின் அடர்த்தி முதலியவை முறையே h, S, ρ ஆகி

யவற்றுக்குச் சமமாயிருந்தால், mg க்குப் பதிலாக நாம் ρhgS என நாம் எழுதலாம். விசைகளின் வித்தியாசம் இக்கணியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. அழுத்தங்களின் வித் தியாசத்தைப் பெறுவதற்கு, எடையை S என்னும் பரப் பளவால் நாம் வகுக்க வேண்டும். அழுத்தங்களின் வித்தி யாசம் ρgh க்குச் சமமாயிருப்பது தெரிய வருகிறது.

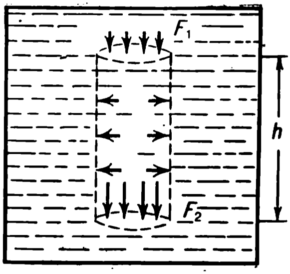
பாஸ்கலின் விதியின்படி, ஒரே ஆழத்தில் அமைந்திருந்து வெவ்வேறு திசைகளை நோக்கியிருக்கும் பரப்பளவுத் துண் டுகளில் செயல்படும் அழுத்தம் சர்வசமமாக இருக்கின்றன. ஆகவே ஒரு திரவத்தினுள் ஒன்றுக்கு மேல் ஒன்ருக h என் னும் உயரத்தில் அமைந்திருக்கும் இரு புள்ளிகளில் செயல் படும் அழுத்தங்களின் வித்தியாசம், ஒன்றுக்குச் சமமான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையும், h என்னும் உயரத்தைக் கொண்ட ஒரு திரவ ஸ்தம்பத்தின் எடைக்குச் சமமாயிருக் கிறது:

$$p_2 - p_1 = \rho gh$$

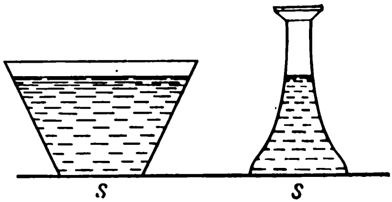
தண்ணீர், அதன் எடையின் விளைவாகச் செயல்படுத் தும் அழுத்தம் **நீர் விசை நிலைப்பு** அழுத்தம் என அழைக்கப் படுகிறது.

பூமியில் நிலைபெற்றிருக்கும் சூழ்நிலையின் கீழ், காற்று எப்பொழுதும் திரவத்தின் புறப்பரப்பின் மீது கீழ் நோக்கி அழுத்துகிறது. காற்று செயல்படும் அழுத்தம், வளியழுத் தம் என அழைக்கப்படுகிறது. ஆழத்தில் செயல்படும் அழுத்தம், வளியழுத்தம், நீர் விசை நிலைப்பு அழுத்தம் ஆகிய இரு ஆக்கக்கூறுகளால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது.

நீர் அழுத்தத்தின் விசையைக் கணக்கிடுவதற்கு, இது செயல்படும் பரப்பளவுத் துண்டின் அளவு, இதற்கு மேல் அமைந்திருக்கும் திரவ ஸ்தம்பத்தின் உயரம் ஆகியவற்றை மட்டுமே தெரிய வேண்டியது அவசியமாகிறது. பாஸ்கலின்



படம் 76



படம் 77

விதிப்படி வேறு எந்தக் கணியமும் இதில் எவ்விதப் பங்கும் ஆற்றுவதில்லை.

இது ஆச்சரியமான செய்தியாக இருக்கலாம். படம் 77ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் இரு பாத்திரங்களின் சர்வசமமான அடிப்பாகங்களில் செயல்படும் விசைகள் சர்வசமமாக இருப்பது சாத்தியமானதா? உண்மையில், இடப்புறம் இருக்கும் பாத்திரத்தில் அதிகமான தண்ணீர் இருக்கிறது. இப்படி இருந்துங்கூட இரு பாத்திரங்களின் அடிப்பக்கங்களில் செயல்படும் விசைகள் ρghS க்குச் சமமாக இருக்கின்றன. இது, வலப்புறம் இருக்கும் பாத்திரத்தில் உள்ள தண்ணீரின் எடையைவிட அதிகமாகவும், இடப்புறம் இருக்கும் பாத்திரத்தில் உள்ள தண்ணீரின் எடையைவிடக் குறைவாகவும் இருக்கிறது. இடப்புறம் இருக்கும் பாத்திரத்தின் சாய்வான பக்கங்கள், ''கூடுதல்'' தண்ணீரின் எடையைத் தாங்கிக் கொள்கின்றன. ஆனால் வலப்புறத்தில் இதற்கு மாறாக, சாய்வான பக்கங்கள், தண்ணீரின் எடையுடன் எதிர்வினையின் விசையைச் சேர்க்கின்றன. கவனத்தைக் கவரும் இந்த முரண்பாடு சில வேளைகளில் ''நீர் விசை நிலைப்புப் புதிர்'' என அழைக்கப்படுகிறது.

ஒரே மட்டம் வரைக்கும் தண்ணீரால் நிரப்பப்பட்ட வித்தியாசமான வடிவங்களைக் கொண்ட இரு பாத்திரங்களை ஒரு குழாயின் மூலம் இணைத்தால், ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து மற்றென்றுக்குத் தண்ணீர் பாய்வதில்லை. பாத்திரங்களில் செயல்படும் அழுத்தங்கள் வித்தியாசமாயிருந்தால் இத்தகைய ''பாய்ச்சல்'' நடைபெறக் கூடும். ஆனால் இங்கு இவ்வாறு இல்லாததால், இணைக்கப்பட்ட இரு பாத்திரங்களிலும் திரவம் ஒரே மட்டத்திலேயே நிற்கிறது.

மாறாக, இணைப்புடைய பாத்திரங்களின் நீர் மட்டங்கள் வித்தியாசமாக இருந்தால், ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து மற்றென்றுக்குத் தண்ணீர் பாய ஆரம்பித்து, நீர் மட்டங்கள் சமமாக ஆகின்றன.

காற்றழுத்தத்தைக் காட்டிலும் நீரழுத்தம் அதிகமாயிருக்கிறது. 10 மீ ஆழத்தில் அமைந்திருக்கும் ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பின் மீது, ஒரு வளியழுத்தத்துக்கும் மேலாக 1 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையுடன் தண்ணீர் அழுத்துகிறது. ஒரு கிலோமீட்டர் ஆழத்தில் அமைந்திருக்கும் ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பின் மீது 100 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையுடன் தண்ணீர் அழுத்துகிறது.

மகாசமுத்திரங்கள், சில இடங்களில் 10 கி.மீக்கும் அதிகமான ஆழத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன. இப்படிப்பட்ட ஆழங்களில், நீரழுத்த விசைகள் மிகுந்த எண்மதிப்பைக் கொண்டதாயிருக்கின்றன. 5 கி.மீ ஆழத்தில் தாழ்க்கப்பட்ட மரத் துண்டுகள், இத்தகைய ''புனித நீராலுக்கு'' பின்னர், தண்ணீர் உள்ள ஒரு பீப்பாயில் செங்கற்களைப் போன்று அமிழ்கின்ற அளவுக்கு, மாபேரளவுள்ள இவ்விசையால் நன்றாக இறுக்கப்படுகின்றன.

கடல் வாழ் உயிரினங்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சியில் ஈடுபட்டிருப்பவர்களுக்கு இம்மாபேரழுத்தம் பெரிய தடைகளை உண்டாக்குகிறது. ஆழ்கடல் இறக்கங்கள் யாவும், ஆழ்க

டல் காட்சிக் கோளம் (bathyspheres) அல்லது ஆழ்கடல் களிகை மாடம் (bathyscopes) என்றழைக்கப்படும் இரும்புக் கோளங்களால் மேற்கொள்ளப்படுகின்றன. இவை ஒரு சதுர சென்டிமீட்டரில் ஒரு டன்னுக்கும் அதிகமான அழுத்தங்களைத் தாங்க வேண்டியிருக்கிறது.

ஆனால் நீர்மூழ்கிக் கப்பல்கள் 100—200 மீ ஆழம் வரை மட்டுமே பாய்ந்து செல்ல முடியும்.

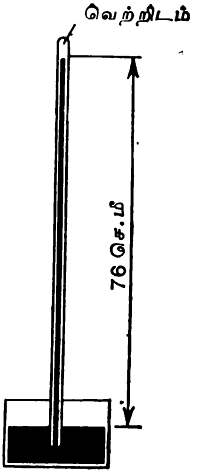
வளியமுத்தம்

வளிமண்டலம் எனப்படும் காற்றுக் கடலின் அடியில் நாம் வாழ்கிறோம். ஒவ்வொரு பொருளும், ஒவ்வொரு மணற் கல்லும், பூமியின் மேல் அமைந்திருக்கும் எந்தப் பொரு ளும் காற்றழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றது.

வளியமுத்தம் மிகக் குறைவானது அல்ல. ஒரு பொரு ளின் ஒவ்வொரு சதுர சென்டிமீட்டர் புறப்பரப்பின் மீதும் கிட்டத்தட்ட 1 கி.கி.வி அளவுள்ள விசை செயல்படுகிறது.

வளியமுத்தத்தின் காரணம் வெளிப்படையாகத் தெரிந்ததே! தண்ணீரைப் போலவே காற்றும் எடையைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆகவே ஒரு பொருளுக்கு மேல் அமைந் திருக்கும் காற்று ஸ்தம்பத்தின் (தண்ணீரைப் போலவே) எடைக்குச் சமமான அழுத்தத்தை, காற்று அப்பொருளின் மீது செயல்படுத்துகிறது. நாம் மலையின் மேல் அதிக உயரத் தில் ஏறினால் அங்கு நமக்கு மேலிருக்கும் காற்று குறைவாயி ருக்கிறது. ஆகவே காற்றழுத்தம் குறைவாயிருக்கிறது.

அன்றாட வாழ்க்கையின் அவசியத்துக்கும் அறிவியல் உப யோகத்துக்கும் அழுத்தத்தை எப்படி அளக்க வேண்டும் என்பதை நாம் ஒவ்வொருவரும் அறிந்திருக்க வேண்டும். இந்நோக்கத்திற்காக பாரமானிகள் என அழைக்கப்படும் பிரத்யேகக் கருவிகள் இருக்கின்றன.



படம் 78

பாரமானியை அமைப்பது மிகவும் கடினமானதல்ல. ஒருமுனை மூடப்பட்ட ஒரு கண்ணாடிக் குழாயினுள் பாதரசம் ஊற்றப்படுகிறது. திறந்திருக்கும் முனையை ஒரு விரலால் இறுக மூடிக் கொண்டு குழாயைத் தலைகீழாகத் திருப்பிப்பின்னர் அதன் திறந்த முனையைப் பாதரசம் உள்ள ஒருகிண்ணத்தில் மூழ்கியிருக்கும்படி செய்ய வேண்டும். இவ்வாறு செய்யப்படும் பொழுது, குழாயிலிருக்கும் பாதரசம் இறங்க ஆரம்பிக்கிறது. ஆனால் பாதரசம் முழுவதும் வெளிவராது. குழாயில் பாதரசத்துக்கு மேல் இருக்கும் பகுதி நிச்சயமாகக் காற்று நீக்கப்பட்ட ஒன்றாகும்.குழாயினுள் இருக்கும் பாதரசத்தை வெளிப்புறக் காற்றின் அழுத்தம் தாங்கிக் கொள்கிறது (படம் 78).

நாம் எடுத்துக் கொண்ட, பாதரசக் கிண்ணத்தின் பரிமாணங்கள் எப்படியிருப்பினும், கண்ணாடிக் குழாயின் விட்டம் எதுவாயிருப்பினும் பாதரச மட்டம் 76 செ.மீ என்னும் ஒரே உயரத்திலேயே நிற்கிறது.

76 செ.மீ ஐவிடக் குட்டையான குழாயை நாம் உபயோகித்தால் அது முழுவதும் பாதரசத்தால் நிரப்பப்பட்டிருக்கும். நாம் வெற்றிடத்தைப் பார்க்க முடியாது. 76 செ.மீ உயரமுள்ள பாதரச ஸ்தம்பம் வளியழுத்தத்துக்குச் சமமான அதே விசையுடன் ஆதாரத்தைக் கீழ் நோக்கி அழுத்துகிறது.

1 செ.மீ^{2} குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும் 76 செ.மீ உயரமும் கொண்ட ஒரு பாதரச ஸ்தம்பம் கிட்டத்தட்ட 1 கிலோகிராம், அல்லது மிகத் துல்லியமாக 1.033 கி. கி.வி எடை

யைக் கொண்டிருக்கிறது. பாதரசத்தின் கன அளவாகிய 1×76 செ.மீ^{3}, அதன் அடர்த்தியாகிய 13.6 கி/செ.மீ^{3} ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனே இந்த எண்ணுகும். ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பில் ஒரு கிலோகிராம் இதுவே இயல்பான வளியழுத்தத்தின் மதிப்பாகும்.

76 செ.மீ என்ற எண்ணின் பொருள் கீழ்வருமாறு இத்தகைய பாதரச ஸ்தம்பம், அதே பரப்பளவு. துண்டின் மேல் அமைந்திருக்கும் வளிமண்டலத்தின் வழியே கடந்து செல்லும் காற்று ஸ்தம்பத்தைச் சரிக்கட்டுகிறது.

பூமியின் புறப்பரப்பளவை $4\pi R^2$ என்ற சூத்திரத்தின் உதவியால் கணக்கிட்டு, வளிமண்டலம் முழுவதின் எடை 5×10^{18} கி.கி.வி என்னும் மாபெரும் எண்ணுல் குறிக்கப்படுவதை நாம் காண்கிறோம்.

பாரமானிக் குழாய்கள் மிகவும் மாறுபட்ட வடிவங்களைக் கொண்டிருக்கலாம். ஒரு குறிப்பு மட்டும் மிக முக்கியமானதாகும். பாதரசத்தின் மேற்பரப்புக்கு மேல் காற்றில்லாதபடி குழாயின் நுனிகளுள் ஒன்று மூடப்பட்டிருக்க வேண்டும். பாதரசத்தின் மற்றொரு மட்டத்தின் மீது வளியழுத்தம் செயல்படுகிறது.

பாதரசப் பாரமானியால் வளியழுத்தத்தை மிகத் துல்லியமாக அளக்க முடிகிறது. பாதரசத்தைத்தான் உபயோகிக்க வேண்டும் என்பது அவசியமில்லை. வேறு எந்தத் திரவமும் ஏற்றதாயிருக்கிறது. ஆனுல் பாதரசமே மிகக் கனமான திரவமாகும். ஆகவே இயல்பான அழுத்தத்தின் பொழுது, பாதரசத்தின் ஸ்தம்ப உயரம் சிறுமமாக இருக்கும்.

அழுத்தத்தை அளப்பதற்குப் பல்வேறுபட்ட அலகுகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அடிக்கடி நாம் எளிதாகப் பாதரச ஸ்தம்பத்தின் உயரத்தை மில்லிமீட்டர்களில் குறிப்பிடுகிறோம். உதாரணமாக, இன்று அழுத்தம் இயல்பான மதிப்பை விட அதிகமாயிருக்கிறது. அழுத்தம் 768 மி.மீ

(அதாவது பாதரசத்தின்) சமமாயிருக்கிறது என நாம் கூறுகிறோம்.

பாதரசத்தின் அடர்த்தியைத் தெரிந்திருப்பதன் மூலம், அழுத்தத்தை கி.கி.வி/செ.மீ^{2} என்னும் அலகில் நாம் மாற்றி எழுத முடியும். பாதரச ஸ்தம்பத்தின் ஒவ்வொரு மில்லிமீட்டரும் 1.36 கி.வி/செ.மீ^{2} க்குச் சமமாயிக்கிறது.

760 மி.மீ பாதரச அழுத்தம் சில நேரங்களில் படித்தர (standard) அழுத்தம் என அழைக்கப்படுகிறது. 1 கி.கி.வி/செ.மீ என்னும் அழுத்தம், தொழில் நுட்பவியல் சார்ந்த அழுத்தம் என அழைக்கப்படுகிறது.

இயற்பியல் அறிஞர்கள் அழுத்தத்தின் மற்ெருரு அலகாகிய பார் (bar) ஐயும் அடிக்கடி உபயோகிக்கின்றனர். ஒரு பார் 10^6 டைன்/செ.மீ^{2} க்குச் சமமாகும். 1 கி.வி=981 டைன்களாக இருப்பதால், ஒரு பார் கிட்டத்தட்ட ஒரு வளியழுத்தத்திற்குச் சமமாயிருக்கிறது. மிகத் துல்லியமாகக் கூறினல், இயல்பான வளியழுத்தம் கிட்டத்தட்ட 1013 மில்லிபார்களுக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

குறிப்பாக எடுத்துக் கூறும் அளவுக்குப் பாதரச பாரமானி வசதியான ஒரு கருவி அல்ல. பாதரசத்தின் மேற்பரப்பைத் திறந்ததாக விட்டிருப்பது நல்லதல்ல (பாதரச ஆவி நச்சுத் தன்மை கொண்டது); மேலும் இக்கருவி அடக்கமானது அல்ல.

உலோகப் பாரமானிகள் அல்லது அனிராய்டுகள் (காற்றில்லாதவை) இத்தகைய குறைபாடுகளைக் கொண்டிருப்பதில்லை.

இத்தகையதொரு பாரமானியை நாமனைவரும் பார்த்திருக்கிறோம். இது அளவுகோல், குறிமுள் ஆகியவற்றைக் கொண்ட ஒரு உலோகப் பெட்டியாகும். அழுத்தத்தின் மதிப்புகள் பொதுவாக ஒரு பாதரச ஸ்தம்பத்தின் சென்டிமீட்டர்களில் அளவுகோலில் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

உலோகப் பெட்டியிலிருந்து காற்று வெளியேற்றப்பட்டிடிருக்கிறது. பலமான வில், பெட்டியின் உறையை உரிய இடத்தில் வைக்கிறது; இவ்வாறு செய்யப்படவில்லையானால், பெட்டி வளியழுத்தத்தால் நொறுக்கப்படலாம். வளியழுத்தத்தில் மாறுதலினால் உறை வளைகிறது அல்லது விறைப்பாகிறது. உறை வளைக்கப்படும் பொழுது, குறிமுள் வலது புறம் நோக்கி நகர்ந்து செல்லும்படி குறிமுள் உறையுடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

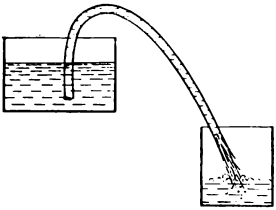
இத்தகையதொரு பாரமானி, இதன் காட்சிப் பதிவுகள் பாதரச பாரமானியின் காட்சிப் பதிவுகளோடு ஒப்பிடுவதால் குறியிடப்படுகிறது.

நாம் அழுத்தத்தை அறிய விரும்பினால், பாரமானியை கையால் தட்டுவதற்கு நாம் மறந்துவிடக் கூடாது. முகப்பின் குறிமுள் அதிகமான உராய்வுக்குட்படுத்தப்பட்டு வழக்கமாக ''முந்திய தினத்தின் வானிலையிலேயே'' தங்கிவிடுகிறது.

வடிகுழாய் எனப்படும் ஒரு இயந்திர நுணுக்கம் வளியழுத்தத்தையே அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கிறது.

ஓட்டுநர் ஒருவர், எரிபொருளுக்காக ஏங்கிக் கொண்டிருக்கும் அவரது நண்பருக்கு உதவி செய்ய விரும்புகிறார். அவருடைய காரின் கொள்கலத்திலிருந்து கல்லெண்ணெயை (gasoline) எப்படி ஊற்றுவது? இது, தேநீர்க் கலம் போன்று சாய்க்கப்பட முடியாதது.

ஒரு ரப்பர் குழாய் அவருடைய உதவிக்கு வருகிறது. அதன் நுனிகளுள் ஒன்றை அவருடைய காரின் எரிபொருள் கலத்தினுள் மூழ்கச் செய்து, மறு நுனியிலிருந்து காற்றை உறிஞ்சுகிறார். திறந்திருக்கும் நுனி விரலால் மூடப்பட்டுப் பின்னர் எரிபொருள் கலத்துக்குக் கீழே ஒரு உயரத்தில் வைக்கப்படுகிறது. இவையாவும் வேகமாகச் செய்யப்பட வேண்டும். இப்பொழுது நுனியை மூடியிருக்கும் விரலை எடுத்து



படம் 79

விடலாம். கல்லெண்ணெய் ரப்பர் குழாயின் வழியே வெளியில் பாய்கிறது (படம் 79).

ஒரு வளைந்த ரப்பர் குழாயே வடிகுழாயாகும். சாய்வு நிலையில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் நேரான ஒரு குழாயின் வழியாகத் திரவம் பாய்ந்து செல்லும் அதே காரணத்தால் தான், வடிகுழாயிலும் திரவம் பாய்கிறது. முடிவான பகுப்பாய்வின் போது, இரு உதாரணங்களிலும் திரவம் கீழ் நோக்கிப் பாய்கிறது.

வடிகுழாய் செயல்படுவதற்கு வளியழுத்தம் அவசியமாயிருக்கிறது, இது திரவத்தை ஏற்றுத் தாங்கி, குழாயில் உள்ள திரவு ஸ்தம்பம் பிளவுபட அனுமதிப்பதில்லை. வளியழுத்தம் இல்லாதிருந்தால், மாற்றுப் புள்ளியில் ஸ்தம்பம் பிளவுபட்டு இரு பாத்திரங்களிலும் திரவம் சிதிறி விடும்.

குழாயின் வலப்பாகத்தில் (''வெளிப் பாய்கிற'') இருக்கும் திரவம் இடது நுனி மூழ்கியிருக்கும் வடிக்கப்பட வேண்டிய திரவ மட்டத்துக்குக் கீழ் இறங்கும் பொழுதுதான் வடிகுழாய் வேலை செய்ய ஆரம்பிக்கிறது. இவ்வாறு இல்லையெனில் திரவம் முதல் பாத்திரத்தினுள்ளே திரும்பி வடிந்து விடும்.

வளியழுத்தம் எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது?

பண்டைக்கால நாகரிக வாழ்க்கையிலேயே உறிஞ்சும் பம்புகள் (Suction pumps) அறியப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றின் உதவியுடன் தண்ணீர் அதிக உயரத்துக்கு ஏற்றப்பட்டி

ருக்கிறது. தண்ணீர் மிகக் கீழ்படிதலுடன் இத்தகைய தொரு பம்பின் உந்துத் தண்டைத் தொடர்ந்து செல்கிறது.

பழங்கால தத்துவஞானிகள் இதற்கான வினைமுதல் களைப் பற்றிச் சிந்தித்து கீழ்வரும் ஆழ்ந்த முடிவுக்கு வந் தனர். இயற்கை வெற்றிடத்தைக் கண்டு அசிதனர். இயற் வெற்றிடத்தைக் கண்டு அச்சப்படுகிறது; ஆகவேதான் உந் துத் தண்டுக்கும் தண்ணீருக்கும் இடையே வெற்றிடம் ஏற் பட அனுமதிப்பதில்லை. இதனால்தான் தண்ணீர் உந்துத் தண்டைத் தொடர்ந்து செல்கிறது.

ப்ளாரன்சிலுள்ள டஸ்கனியைச் சேர்ந்த கோமகனுக் காக, 10 மீட்டருக்கும் அதிகமான உயரத்துக்குத் தண்ணீரை ஏற்றும் உந்துத் தண்டைக் கொண்ட உறிஞ்சும் பம்பு ஒன்றை ஒரு கைவினைஞர் அமைத்தார் என்று சொல்லப்ப டுகிறது. இப்பம்பின் உதவியால் அவர்கள் தண்ணீரை எவ் வாறு உறிஞ்ச ஆரம்பிக்க முயற்சித்தார்கள் என்பது எப் படியாயினும் இது செயல்படவில்லை என்பதுதான் முக்கியமா னதாகும். உந்துத் தண்டைத் தொடர்ந்து தண்ணீர் 10 மீ உயரத்துக்கு ஏறியது; ஆனால் இதற்குப் பின்னர் உந்துத் தண்டு தண்ணீரைப் பின்னால் செல்ல அனுமதித்து விட்டது. ஆகவே இயற்கை அச்சம் கொண்ட அதே வெற்றிடம் உரு வாக்கப்பட்டது.

இத்தோல்வியின் வினைமுதலை விளக்கிக் கூறுமாறு கலீலி யோவைக் கேட்ட பொழுது ''இயற்கை உண்மையில் வெற் றிடத்தை வெறுக்கிறது. ஆனால் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைவரைக் குமே.'' என அவர் பதிலளித்தார். இந்நிகழ்ச்சியைக் காரணமாகக் கொண்டு கலீலியோவின் சீடராகிய டாரி செல்லி என்பவர், 1643 ல் பாதரசத்தால் நிரப்பப்பட்ட கண்ணாடிக் குழாயைக் கொண்டு புகழ் மிக்க சோதனை ஒன் றைச் செய்தார். நாம் சற்று முன்னர்தான் இச்சோதனையை

விவரித்திருக்கிறோம். பாதரச பாரமானி ஒன்றை அமைப்ப துதான் சரியாக டாரிசெல்லின் பரிசோதனையாகும்.

டாரிசெல்லி, 76 செ.மீக்கும் அதிக உயரமான ஒரு கண்ணாடிக் குழாயை எடுத்துக் கொண்டு, பாதரசத்துக்கு மேல் ஒரு வெற்றிடத்தை உருவாக்கினார் (அவரை மதித் துப் பாராட்டுவதற்காக இது எப்பொழுதும் டாரிசெல்லி யின் வெற்றிடம் என அழைக்கப்படுகிறது). இவ்வாறாக, அவர் வளியழுத்தம் செயல்படுவதை நிரூபித்தார்.

டாரிசெல்லி இப்பரிசோதனையின் மூலம் டாஸ்கனிக் கோமகனின் கைவினைஞரின் தப்பான பொருள்கோளைத் தெளிவுபடுத்தினார். உண்மையில் எத்தனை மீட்டர் உயரம் வரையிலும் தண்ணீர், உறிஞ்சும் பம்பின் உந்துத் தண் டைக் கீழ்ப்படிதலுடன் தொடர்ந்து செல்லும் என்பதை நாம் எளிதில் பார்க்க முடிகிறது. ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பளவுடைய தண்ணீர் ஸ்தம்பம் 1 கி.கி.வி எடையை அடையும் வரை இவ்வியக்கம் நீடிக்கிறது. இத்தகைய தொரு நீர் ஸ்தம்பம் 10 மீட்டர் உயரத்தைக் கொண்டி ருக்கும். இதனால்தான் இயற்கை வெற்றிடத்தைக் கண்டு அஞ்சுகிறது. ஆனால் 10 மீட்டர் உயரம் வரைக்குமே!

டாரிசெல்லின் கண்டுபிடிப்புக்கு 11 ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர், 1654 ல் மாக்டெபர்க்கைச் சேர்ந்த ஓட்டோ வான் கேரிகே என்னும் பெயருடைய நகர முதல்வரால் வளியழுத்தத்தின் செயற்பாடு விளக்கவரை மூலமாக மெய்ப்பித்துக் காட்டப்பட்டது. இப்பரிசோதனையின் இயற் பியல் தரத்தைக் காட்டிலும், அதன் செயற்பாட்டின் செயல் நடைமுறையே, இப்பரிசோதனையை ஆக்கியவருக்குப் புக ழைத் தேடித் தந்தது.

தாமிரத்தால் செய்யப்பட்ட இரு அரைக்கோளங்கள் வளைவடிப்பட்டை வளையங்களால் இணைக்கப்பட்டன. அரைக்கோளங்களில் ஒன்றில் பொருத்தப்பட்ட குழாயின்

மூலம், இவ்வாறு கிடைக்கப் பெற்ற கோளத்திலிருந்து காற்று வெளியேற்றப்பட்டது. இவ்வாறு செய்த பின்னர், அரைக்கோளங்களைப் பிரித்தல் சாத்தியமானதாக இருக்கவில்லை. கேரிகேவின் பரிசோதனையின் விரிவான விளக்கம் பாதுகாக்கப்படுகிறது. அரைக்கோளங்களின் மீது செயல்படும் வளியமுத்தத்தை நாம் இப்பொழுது கணக்கிட முடிகிறது. கோளத்தின் விட்டம் 37 செ.மீ ஆக இருக்கும்பொழுது, செயற்படும் விசை கிட்டத்தட்ட 4 டன்னுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. அரைக் கோளங்களைப் பிரிவினை செய்வதற்காகக் கேரிகே ஒவ்வொன்றும் எட்டு குதிரைகளைக் கொண்ட இரு குழுக்களுக்குச் சேணம் பூட்டுமாறு ஆணையிட்டார். அரைக்கோளங்களுடன் பொறுத்தப்பட்ட வளையங்களின் வழியே செல்லும் கயிறுகள் சேணங்களோடு சேர்த்துக் கட்டப்பட்டன. மார்க்டெபெர்க்கின் அரைக்கோளங்களைக் குதிரைகளால் பிரிக்க இயலாது என்பது நிரூபிக்கப்பட்டது.

வளியழுத்தமும் வானிலையும்

எட்டுக் குதிரைகள் செலுத்திய (சரியாக எட்டு மட்டுமே, பதினாறு அல்ல, ஏனெனில் அதிக விளைவுக்காக, சேணமிடப்பட்ட, இரண்டாவது குழுவுக்குப் பதிலாக சுவருடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு வளையத்தை உபயோகித்திருக்கலாம்) விசைகள் மாக்டெபெர்க்கின் அரைக்கோளங்களைப் பிரிவினை செய்வதற்குப் போதுமானதாக இருக்கவில்லை.

சேர்ந்திருக்கும் இரு பொருட்களுக்கிடையே வெற்றிடம் ஏற்பட்டிருந்தால் இவ்விரு பொருட்களும் விலகி வராது ஏனெனில் அவற்றின் மீது வளியமுத்தம் செயல்படுகிறது.

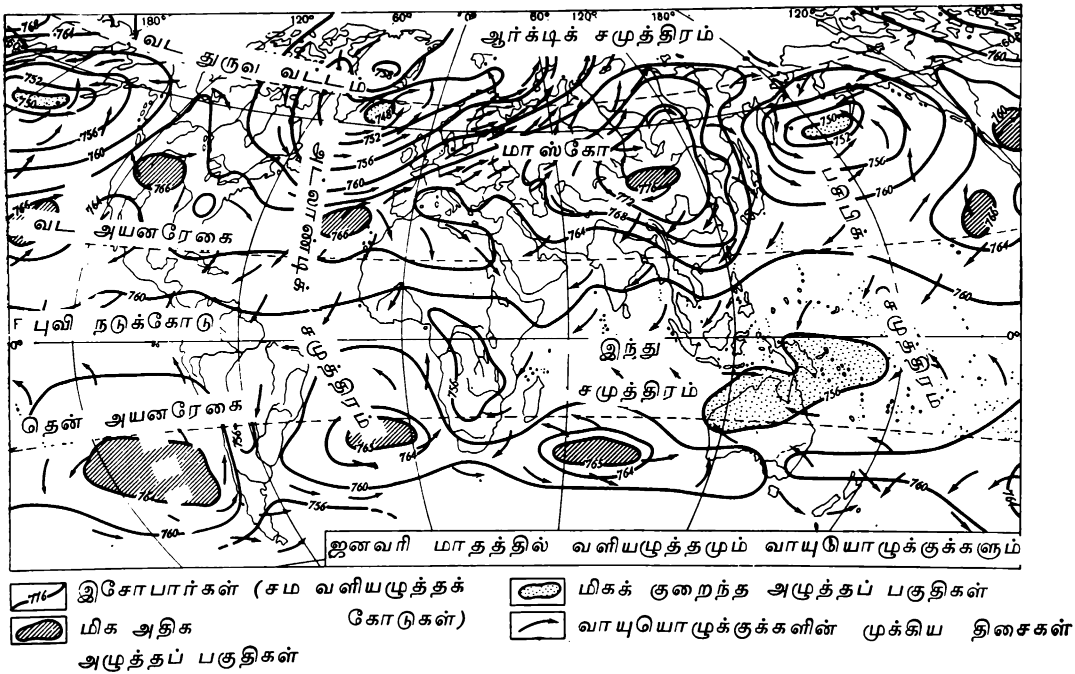
வானிலையால் உண்டாகும் வளியமுத்தத்தின் ஏற்ற இறக்கங்கள் இயல்பில் முறையாக மாறுபவைகள் அல்ல. அமுத்

தம் மட்டுமே வானிலையைத் தீர்மானிக்கிறது என மக்கள் ஒரு காலத்தில் எண்ணியிருந்தார்கள். ஆகவேதான் கீழ் வரும் எழுத்துப் பொறிப்புகள் இன்று வரை பாரமானிக ளில் அமைந்திருக்கின்றன. ''தெளிவு, வறட்சி, மழை, புயல்'', ''நில அதிர்ச்சி'' என்ற எழுத்துப் பொறிப்பைக் கூட ஒருவர் காணமுடிகிறது.

*உண்மையில் அழுத்தத்தின் மாறுதல்கள், வானிலையை மாற்றுவதில் முக்கிய பங்கெடுத்துக் கொள்கின்றன. ஆனால் இது மட்டும் வானிலையைத் தீர்மானிப்பதில்லை. கடல் மட் டத்தில் சராசரி அல்லது இயல்பான அழுத்தம் **1013** மில் லிபாருக்குச் சமமாயிருக்கிறது. அழுத்தத்தின் ஏற்ற இறக் கங்கள் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கையில் மிகச் சிறியவையாகும். அழுத்தம் மிக அரிதாகவே **935—940** மில்லிபார்களுக்குச் கீழே இறங்குகிறது அல்லது **1055—1060** மில்லிபார்க ளுக்கு மேலே ஏறுகிறது.*

***885** மில்லிபார்கள் என்னும் மிகக் குறைந்த அழுத் தம் **1927** ஆம் ஆண்டு ஆகஸ்ட்டு மாதம் **18** ம் நாள், தென் சீனக் கடலில் பதிவாயிருக்கிறது. கிட்டத்தட்ட **1080** மில் லிபார்க்ள் என்னும் மிக அதிக அழுத்தம் **1900** ஆம் ஆண்டு ஜனவரி மாதம் **23** ம் நாள் ஸைபீரியாவில் பார்னல் என்ற நிலயத்தில் பதிவாயிருக்கிறது (எல்லா எண்களும் கடல் மட்டத்துக்குச் சார்பானவை).*

*வானிலை ஆய்வியல் அறிஞர்கள் வானிலையில் ஏற்படும் மாறுதல்களைப் பகுப்பாய்வு செய்யப் பயன்படுத்தும் வரைபடம் படம் **80**ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. வரைபடத் தில் வரையப்பட்டிருக்கும் கோடுகள் சம அழுத்தக் கோடுகள் (isobars) என அழைக்கப்படுகின்றன. இத்தகையக் கோடு ஒவ்வொன்றின் மீதும் அழுத்தம் சமமாயிருக்கிறது (இதன் மதிப்புக் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது). அழுத்தப்ப ''பள்ளங்கள்'', அழுத்த ''முகடுகள்'' எனப்படும் முறையே*


ஆர்க்டிக் சமுத்திரம்
வட துருவ வட்டம்
மாஸ்கோ
வட அயனரேகை
புவி நடுக்கோடு
இந்து சமுத்திரம்
தென் அயனரேகை
அட்லாண்டிக் சமுத்திரம்
பசிபிக் சமுத்திரம்
ஜனவரி மாதத்தில் வளியமுத்தமும் வாயுவொழுக்குக்களும்
இசோபார்கள் (சம வளியமுத்தக் கோடுகள்)
மிக அதிக அழுத்தப் பகுதிகள்
மிகக் குறைந்த அழுத்தப் பகுதிகள்
வாயுவொழுக்குக்களின் முக்கிய திசைகள்

படம் 80

மிகக் குறைந்த அழுத்தப் பகுதிகளையும் மிக அதிக அழுத்தப்பகுதிகளையும் கவனிக்கவும்.

காற்றின் பலமும் திசைகளும் வளியழுத்தத்தின் பரப்பீட்டுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கின்றன.

பூமியின் மேற்பரப்பின் மீது வெவ்வேறு இடங்களில் அழுத்தங்கள் சர்வசமமாயிருப்பதில்லை. அதிக அழுத்தம், குறைவான அழுத்தம் உள்ள இடத்தை நோக்கிக் காற்றை அழுத்தித் தள்ளுகிறது. சம அழுத்தக் கோடுகளுக்குச் செங்குத்தாக அதாவது அழுத்தம் மிக வேகமாகக் குறையும் பகுதியை நோக்கி, காற்று வீச வேண்டும் எனத் தோன்றலாம். ஆயினும் காற்றின் வரைபடங்கள் இதற்கு மாறான முடிவுகளைக் காட்டுகின்றன. காற்றழுத்தத்தைப் பொறுத்தமட்டில் காரியாலிஸ் விசை தலையிட்டு, அவற்றின் திருத்தங்களைக் கொடுக்கிறன. இவை மிகவும் குறிப்பிடத்தக்கவை.

நாம் அறிந்திருப்பது போலவே இயக்கத்துக்கு வலப்புறம் நோக்கியிருக்கும் காரியாலிஸ் விசை, வடக்கு அரைக் கோளத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் எந்தப் பொருளின் மீதும் செயல்படுகிறது. காற்றுத் துகள்களுக்கும் இது பொருந்துகிறது. அதிக அழுத்தப் பகுதிகளில் இருந்து குறைந்த அழுத்தப் பகுதிகளை நோக்கி அழுத்தித் தள்ளப்படும் துகள் சம அழுத்தக் கோடுகளுக்குக் குறுக்கே நகர்ந்து செல்ல வேண்டும். ஆனால் காரியாலிஸ் விசை இதை வலப்புறமாக விலக்குகிறது. ஆகவே காற்றின் திசை சம அழுத்தக் கோட்டுடன் கிட்டத்தட்ட 45° என்னும் கோணத்தை அமைக்கிறது.

இத்தனை சிறிய விசை கவனத்தைக் வரக்கூடிய அதிக விளைவு ஏற்படுத்துகிறது. காரியாலிஸ் விசையின் செயற்பாட்டுக்குத் தடைகளாய் இருக்கும் காற்று அடுக்குகளுக்கிடையேயான உராய்வும் குறிப்பிட முடியாத அளவுக்குக்

குறைவாய் இருக்கிறது என்ற உண்மையின் அடிப்படையில் இது விளக்கப்படுகிறது.

அழுத்த ''முகடுகளிலும்'', அழுத்தப் ''பள்ளங்களிலும் காரியாலிஸ் விசையின் செயற்பாட்டால் காற்றின் திசை களில் ஏற்படும் விளைவுகள் இன்னும் மிக முக்கியமானவை களாயிருக்கின்றன. காரியாலிஸ் விசைகளின் செயற்பாட் டால், அழுத்த முகடுகளிலிருந்து விடுபடும் காற்று, அதைச் சுற்றிய ஆரங்களின் வழியே எல்லாத் திசைகளிலும் வீசா மல், சுருள் கோடுகள் எனப்படும் வளைகோடுகளில் இயங்கு கின்றன. இச்சுழல் காற்றுத் தொகுதிகள் ஒரே திசையில் சுற்றி, அதிக அழுத்தப் பகுதியிலிருககும் காற்றுப் பொருண்மை களைக் கடிகாரம் சுற்றும் திசையில் இடம் பெயரச் செய்து, வட்ட வடிவமான சுழல் காற்றை உருவாக்குகிறது. மாறிலி விலக்க விசை ஒன்றின் செயற்பாட்டினால், ஒரு ஆரை இயக்கம் எவ்வாறு சுழல் இயக்கமாக மாற்றப்படுகி றது? என்பதைப் படம் 28 தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

குறைந்த அழுத்தப் பகுதியிலும் இது நிகழ்கிறது. காரி யாலிஸ் விசை செயல்படாமலிருக்கும் பொழுது, இப்பகு குதியை நோக்கி, ஆரங்களின் வழியே காற்று சீராக வீசும். வழியில் காற்றுப் பொருண்மைகள் வலப்புறமாக விலக்கப் படுகின்றன. படத்தில் தெளிவாகத் தெரிவது போன்று, இச்சூழ்நிலையிலும் கடிகாரச் சுழல் முறைக்கு எதிராகக் காற்றை இயக்கி வட்ட வடிவ சுழல் காற்று உருவாக்கப்ப டுகிறது.

குறைந்த அழுத்தப் பகுதிகளில் வீசும் காற்றுகள், சுழல் காற்றுகள் (cyclones) என அழைக்கப்படுகின்றன. அதிக அழுத்தப் பகுதியில் வீசும் காற்றுகள் எதிர்ச் சுழல் காற் றுகள் (anticyclones) என அழைக்கப்படுகின்றன.

ஒவ்வொரு சுழல் காற்றும் சூறுவளியையோ அல்லது ஒரு புயலையோ குறிப்பால் தெரிவிப்பதாக நாம் எண்ணக்

கூடாது. நாம் வாழும் நகரத்தின் வழியே சுழல் காற்று அல்லது எதிர்ச் சுழல் காற்று கடந்து செல்வது ஒரு சாதாரண இயற்பாடாகும். இது வானிலை மாற்றத்துடன் அதிகமாகச் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது என்பது உண்மையே! மிக அதிகமான நேரங்களில், சுழல் காற்றின் வரவு மோசமான வானிலைக்கான அறிகுறியாகவும், எதிர்ச் சுழல் காற்றின் வரவு நல்ல வானிலைக்கான அறிகுறியாகவும் அர்த்தம் கொள்ளப்படுகிறது.

வானிலை முன்னறிவிப்பாளரின் பணியில் நாம் தலையிட மாட்டோம்.

ஆர்க்கிமிடீஸ் தத்துவம்

வில் தராசில் ஒரு எடையைத் தொங்க விடுவோம். வில் நீண்டு, எடை எவ்வளவு எடையைக் கொண்டிருக்கி கிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. வில் தராசிலிருந்து எடையை அகற்ருமல் அதை நீரினுள் மூழ்க வைப்போம். வில் தராசின் வாசகம் மாறுமா? ஆம். பொருளின் எடை குறைந்திருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. இரும்பால் செய்யப் பட்ட ஒரு கிலோகிராம் எடையைக் கொண்டு பரிசோதனை செய்யப்பட்டால் எடையின் இழப்பு கிட்டத்தட்ட 140 கிராம் ஆகிறது.

இதன் காரணம் என்ன? எடையின் பொருண்மையோ அல்லது அதன் பூமியை நோக்கிய ஈர்ப்போ மாறியிருக்க முடியாது. எடை இழப்புக்கு ஒரே காரணம் மட்டுமே இருக்க முடியும். தண்ணீரினுள் மூழ்கியிருக்கும் எடையின் மீது 140 கி.வி எண்மதிப்புள்ள மேல்நோக்கிய விசை செயல் படுகிறது. ஆனால், பழங்காலத்தில் மிகச் சிறந்த அறிவியல் அறிஞராக விளங்கிய ஆர்க்கிமிடீஸ் கண்டுபிடித்த இம் மிதவை விசை எங்கிருந்து தோன்றியது? தண்ணீரில் மூழ்கியிருக்கும் திடப்பொருளைப் பரிசீலிப்பதற்கு முன்னர், நாம்

''தண்ணீரிலேயே தண்ணீர்'' இருப்பதைப் பரிசீலனை செய்வோம். எதேச்சையான கன அளவுள்ள தண்ணீரை நாம் கொள்கை ரீதியாகத் தனிமைப்படுத்துவோம். இக்கன அளவு தண்ணீர் எடையைக் கொண்டிக்கிறது. ஆனால் இது அடிப்பகத்தை நோக்கி இறங்குவதில்லையே? ஏன்? பதில் வெளிப்படையாகத் தெரிகிறது. சூழ்ந்திருக்கும் நீரின் நீர் விசை நிலைப்பு அழுத்தம் இதைத் தடுக்கிறது. நமது பரிசீலனைக்குட்பட்ட கன அளவின் மீது செயல்படும் இந்த அழுத்தத்தின் விளைவு விசை எண்மதிப்பில் தண்ணீரின் எடைக்குச் சமமாயிருப்பதுடன், நிலைக்குத்தான மேல் நோக்கிச் செயல்படுகிறது என்பதை இது குறிப்பால் தெரிவிக்கிறது.

இதே கன அளவு திடப்பொருளால் அடைக்கப்பட்டிருந்தால் நீர் விசை நிலைப்பு அழுத்தம் முன்போலவே இருக்கும் என்பது தெளிவு.

ஆகவே நீர் விசை நிலைப்பு அழுத்தத்தின் விளைவால் ஒரு திரவத்தினுள் மூழ்கியிருக்கும் பொருள் மீது, பொருளால் இடம் பெயர்ந்த திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாயிருக்கும் எண்மதிப்பையும், நிலைக்குத்தாக மேல் நோக்கிச் செயல்படும் தன்மையையும் கொண்ட விசை செயல்படுகிறது. இதுவே ஆர்க்கிமிடீஸின் தத்துவமாகும்

ஆர்க்கிமிடீஸ் குளியல் தொட்டி ஒன்றினுள் அமர்ந்து கொண்டு, தங்கத்தாலான ஒரு கிரிடீடத்தில் வெள்ளி இருக்கிறதா, இல்லையா என்பதை உறுதி செய்வது எப்படி என்பதைப் பற்றிச் சிந்தித்தார் என்று சொல்லப்படுகிறது. குளித்துக் கொண்டிருக்கும் ஒருவர் மிதவை விசையை நன்கு உணர்கிறார். திடீரென இத்தத்துவம் வெளிப்பட்டு மிக எளிய முறையில் ஆர்க்கிமிடீசுக்கு அதுவாகவே தெரிவித்தது: ''யுரேகா'' (நான் கண்டேன் என்னும் பொருள்பட) என்ற பெரிய கூப்பாட்டுடன் ஆர்க்கிமிடீஸ் குளியல் தொட்டியிலிருந்து குதித்து வெளியே வந்து, விலை மதிப்

பற்ற கிரீடம் தண்ணீரில் இழக்கும் எடையை உடனேயேக் கண்டுபிடிப்பதற்காக, அது வைக்கப்பட்டிருந்த அறையை நோக்கி ஓடினுர்.

தண்ணீரில் ஒரு பொருளின் எடை இழப்பு கிராம்களில் அறிவிக்கப்பட்டால், அது அப்பொருள் இடப்பெயர்ச்சி செய்த தண்ணீரின் எடைக்குச் சமமாயிருக்கிறது. தண்ணீரின் எடையைத் தெரிவதிலிருந்து உடனேயே அதன் கன அளவைக் கண்டுபிடிக்க முடியும். இது கிரீடத்தின் கன அளவுக்குச் சமமாயிருக்கிறது. கிரீடத்தின் எடையைத் தெரிவதிலிருந்து அது செய்யப்பட்டிருக்கும் பருப்பொருளின் அடர்த்தியை நாம் உடனேயேக் காண முடியும். தங்கம், வெள்ளி ஆகியவற்றின் அடர்த்திகளைத் தெரிந்திருந்தால் கிரீடத்திலிருக்கும் வெள்ளியின் விகிதாச்சாரத்தைக் கணக்கிட முடியும்.

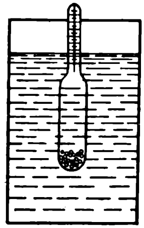
எல்லாப் பாய்மங்களுக்கும் ஆர்க்கிமிடீஸ் தத்துவம் செல்லுபடியாகிறது. V என்ற பரிமாணத்தையுடைய பொருள் ρ என்ற அடர்த்தியையுடைய பாய்மத்தில் மூழ்கினுல், இடம் பெயர்ந்த பாய்மத்தின் எடை—இதுவே மிதவை விசையாகும்— $\rho g V$ க்குச் சமமாயிருக்கும்.

பாய்மப் பொருள்களின் தன்மைகளைக் கட்டுப்படுத்தும் எளிய கருவிகளின் செயல்முறைகள் ஆர்க்கிமிடீஸின் விதியை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கின்றன. தண்ணீரைச் சேர்ப்பதன் மூலம் ஆல்கஹால் அல்லது பாலின் செறிவு குறைக்கப்பட்டால் அதன் அடர்த்தி மாறுகிறது. ஆனுல் அடர்த்தியின் அடிப்படையில் அதன் கூட்டமைவை நிர்ணயம் செய்ய முடிகிறது. ஒரு காற்றுமானியின் (aerometer) (படம் 81) உதவியால் மிக எளிதாகவும், சுலபமாகவும், அடர்த்திகள் அளவிடப்படுகின்றன. திரவத்தினுள் அமிழ்த்தப்பட்ட காற்றுமானி, அத்திரவத்

தின் அடர்த்தியைப் பொறுத்து அதிக ஆழத்திற்கோ அல்லது குறைந்த ஆழத்திற்கோ மூழ்கடிக்கப்படுகிறது.

மிதவை விசை, காற்றுமானியின் எடைக்குச் சமமாயிருக்கும் பொழுது அக்காற்றுமானி சமநிலையில் இருக்கும்.

காற்றுமானியில் பல பகுதிகள் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. திரவ மட்டத்தில் அமைந்திருக்கும் குறியீட்டிலிருந்து திரவத்தின் அடர்த்தியைக் கண்டு கொள்ளலாம்.



படம் 81

ஆல்கஹாலின் அடர்த்தியைக் கட்டுப்படுத்த உபயோகப்படுத்தப்படும் காற்றுமானிகள் ஆல்கஹால்மானிகள் எனவும், பாலின் அடர்த்தியைக் கட்டுப்படுத்தப் பயன்படும் காற்றுமானிகள்பால்மானிகள் (lactometers) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.

மனித உடலின் சராசரி அடர்த்தி ஒன்றைவிடச் சிறிது அதிகமாயிருக்கிறது. நீந்த இயலாத ஒருவர் சாதாரண நீரில் மூழ்கி விடுவார். உப்புத் தண்ணீர் ஒன்றுக்கும் மேற்பட்ட அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கிறது. பெரும்பாலான கடல் நீர்களில் உப்புத் தன்மை மிகக் குறைவாகவே இருக்கிறது. இதன் அடர்த்தி ஒன்றை விட அதிகமாயிருப்பினும் மனித உடலின் சராசரி அடர்த்தியைக் காட்டிலும் குறைவாகவே இருக்கிறது. காஸ்பியன் கடலில் அமைந்திருக்கும் காரா—போக்ஸ்—கோல் விரிகுடாவில் கடல் நீரின் அடர்த்தி 1.18 ஆக இருக்கிறது. இது மனித உடலின் சுராசரி அடர்த்தியைவிட அதிகமாயிருக்கிறது. இவ்விரிகுடாவில் மூழ்குதல் சாத்தியமானதல்ல. ஒருவர் தண்ணீரின் மீது படுத்துக் கொண்டு புத்தகம் வாசிக்க முடிகிறது.

பனிக்கட்டி தண்ணீரில் மேல் மிதக்கிறது. ''மேல்'' என்னும் முன்னிடைச் சொல் இவ்விடத்தில் சிறிது பொருந்தா

ததாயிருக்கிறது. பனிக்கட்டியின் அடர்த்தி, நீரின் அடர்த்தியைக் காட்டிலும் கிட்டத்தட்ட 10% குறைவாயிருக்கிறது. ஆகவே பனிக்கட்டியின் 0.9 பகுதி தண்ணீரினுள் மூழ்கியிருக்கிறது என்பது ஆர்க்கிமிடீஸின் விதியிலிருந்து தெரிய வருகிறது. கடல் கப்பல்கள் பனிப்பாறையை நெருங்கும் பொழுது, இச்சூழ்நிலைதான் மிகவும் அபாயகரமானதாக அமைகிறது.

வளிமண்டலத்தில் ஒரு திராசுக்கோல் சமநிலையில் இருந்தால், வெற்றிடத்திலும் அது சமநிலையிலேயே இருக்கும் என்பதை இது குறிப்பால் தெரிவிப்பதில்லை. தண்ணீரைப் போன்று அதே அளவுக்குக் காற்றிலும் ஆர்க்கிமிடீஸ் விதி செல்லுபடியாகிறது. இடம் பெயர்ந்த காற்றின் எடைக்குச் சமமான மிதவை விசை வளிமண்டலத்தில் இருக்கும் பொருளின் மீது செயல்படுகிறது. வெற்றிடத்தைக் காட்டிலும் வளிமண்டலத்தில் பொருள் குறைந்த எடையைக் கொண்டிருக்கிறது. பொருளின் பரிமாணம் அதிகமாயிருந்தால். அது இழக்கும் எடையும் அதிகமாகிறது. ஒரு டன் ஈயம் ஒரு டன் மரத்தைக் காட்டிலும் கனமாயிருக்கிறது.

நாம் சிறிய பொருட்களைப் பற்றிப் பரிசீலித்துக் கொண்டிருக்கும் வரையில் வளிமண்டலத்தில் ஏற்படும் எடை இழப்பு சிறியதாயிருக்கிறது. ஆயினும் அறையின் அளவிலான பொருளின் எடையைக் காணும் பொழுது, அப்பொருள் சில பத்துக் கிலோகிராம்கள் எடையை "இழக்கக் கூடும்." எடையை மிகத் துல்லியமாகக் கணிக்க வேண்டுமானால், காற்றில் ஏற்படும் எடை இழப்புடன் கூடிய திருத்தமும் கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ளப்பட வேண்டும்.

காற்றில் ஏற்படும் மிதவை விசை பலூன்கள், வான் கூண்டுகள் பலவகைப்பட்ட பறக்கும் கப்பல்கள் (aerostats) ஆகியவற்றை அமைப்பதற்கு நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது.

இதற்குக் காற்றைவிடக் கனம் குறைந்த வாயு நம்மிடம் இருக்க வேண்டும்.

1 மீ^{3} பரிமாணத்தைக் கொண்ட பலூன் ஹைடிரஜன் வாயுவால் நிரப்பப்பட்டால், இந்த 1 மீ^{3} ஹைடிரஜனின் எடை 0.09 கி.கி.விக்குச் சமமாயிருக்கும். மிதவை விசைக்கும் வாயுவின் எடைக்கும் இடையேயான வித்தியாசமாகிய உயர்த்தும் விசை 1.29 கி.கி.வி—0.09 கி.கி.வி=1.20 கி.கி.விக்குச் சமமாயிருக்கும். காற்றின் அடர்த்தி 1.29 கி.கி./மீ^{3} ஆக இருக்கிறது.

ஆகவே இப்படிப்பட்ட பலூனுடன் கிட்டத்தட்ட 1கி.கி எடையுள்ள பளுவை இணைக்க முடியும். பலூன் மேகங்களுக்கு மேலே பறப்பதற்கு இது தடையாக அமையாது.

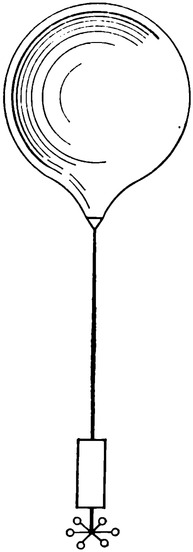
சார்பாகக் குறைந்த பரிமாணங்களை உடைய பல நூறு கன மீட்டர்கள் அளவுடைய ஹைடிரஜன் பலூன்கள் அதிகக் கனமான பளுக்களைக் காற்றில் மேலே தூக்கிச் செல்லும் ஆற்றல் வாய்ந்தவைகளாய் இருக்கின்றன என்பது தெரிய வருகிறது.

ஹைடிரஜனின் எரியுந்தன்மையே ஹைடிரஜன் பலூன்களின் மிக முக்கிய குறைபாடாகும். ஹைடிரஜன், காற்றுடன் சேர்ந்து வெடிக்கும் கலவை ஒன்றை அமைக்கிறது. விண்கூடுகளை உருவாக்கியது பற்றிய வரலாற்றில் துயரமான விபத்துக்கள் இடம் பெற்றிருக்கின்றன.

ஆகவே ஹிலியம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பொழுது, மனிதன் பலூன்களை ஹிலியத்தால் நிரப்ப ஆரம்பித்தான். ஹைடிஜனைப் போன்று ஹிலியம் இரு மடங்குக் கனமானது; ஆகவே இதனல் நிரப்பப்பட்ட பலூனின் தூக்கும் திறன் குறைவாயிருக்கிறது. ஆனுல் இவ்வேறுபாடு குறிப்பிடத்தக்கத் தன்மையுடையதா? ஹிலியத்தால் நிரப்பப்பட்ட பலூனின் தூக்கும் திறன் 1.29 கி.கி.வி—0.18 கி.கி.வி=1.11 கி.கி.வி என்னும் வித்தியாசமாகக் கணக்கிடப்படுகிறது. தூக்

கும் திறன் 8% அளவே குறைந்திருக்கிறது. இதே நேரத்தில் ஹிலியத்தைப் பயன்படுத்துவதினால் உண்டாகும் நன்மைகளும் நாம் நன்கறிந்தவையே!

மனிதன் காற்றில் மேல்நோக்கிச் செல்வதற்கு உபயோகப்படுத்திய முதல் கருவி பலூனே ஆகும். இடையே காற்று புகாதவாறு அடைக்கப்பட்ட வண்டியுடன் கூடியபலூன்களே இன்று வரை வளிமண்டலத்தின் மேலடுக்குகளைப் பற்றி ஆராய்வதற்காக உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன. இவை ஸ்ட்ராடோஸ்பெரிக் பலூன்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. அவை 20 கி.மீக்கும் அதிகமான உயரத்துக்கு எழும்பிச் செல்கின்றன.



படம் 82

பலதரப்பட்ட அளவிடும் சாதனங்கள், இவற்றின் அளவீடுகளின் முடிவுகளை வானொலியின் மூலம் அறிவிக்கும் வசதி ஆகியவை பொருத்தப்பட்ட பலூன்கள், தற்காலத்தில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன (படம் 82). இத்தகைய மீவளிநிலையங்கள் (radiosondes) பாட்டரிகளில் செயல்படும் வானொலி பரப்பிகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவை முன்னேற்பாடு செய்யப்பட்டு சைகைகளின் மூலம் வெவ்வேறு உயரங்களில் உள்ள ஈரப்பதம், வெப்பநிலை, காற்று அழுத்தம் ஆகியனவற்றைத் தெரிவிக்கின்றன.

வழி நடத்தப்படாத விண்கூட்டை நீண்ட பயணத்தில் அனுப்பி, அது தரையில் எங்கு இறங்கும் என்பதையும் மிகத்துல்லியமாகக் கணிக்க முடியும். இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானால், 20—30 கி.மீ அளவுள்ள மிக அதிக உயரத்

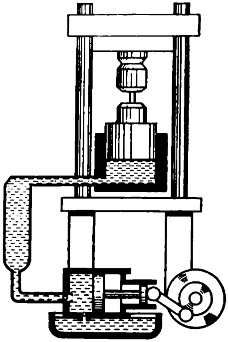
துக்கு விண்கூடு எழும்ப வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. இத்தகைய உயரங்களில் காற்று வீச்சு மிகவும் நிலையா யிருக்கிறது; ஆகவே விண்கூட்டின் பாதையை முன்னதாகவே நன்கு கணக்கிட முடியும். வாயுவை வெளிச் செல்ல அனு மதிப்பதாலோ அல்லது அடிச்சுமையை ஏற்றுவதனுலோ, விண்கூட்டின் உயரத்தை மாற்ற முடிகிறது.

மோட்டாருடன் கூடிய சுழல் விசிறிகள் (propeller) பொருத்தப்பட்ட ஆகாயக் கப்பல்கள், முன்னர் விமானப் பயணத்துக்காகப் பயன்படுத்தப்பட்டன. விண்கலங்கள் (வழி நடத்தப்பட்டவை எனப் பொருள்படும்) என்றழைக் கப்படும் இத்தகைய ஆகாயக் கப்பல்கள் ஒழுங்குபடுத்தப் பட்டன. ஆகாய விமானங்களுடன் நடத்திய போட்டியில் விண்கலங்கள் தோல்வியுற்றன. 30 வருடங்களுக்கு முன்னர் பழக்கமாயிருந்த ஆகாய விமானங்களுடன் ஒப்பிடும் பொழு தும் கூட இவ்விண்கலங்கள் அமைப்புக் கேடுடையனவாய் இருக்கின்றன. கட்டுப்படுத்துவதற்குக் கடினமாயிருக்கின்ற றன; மெதுவாகவே இயங்குகின்றன; மிகத் தாழ்வான உய ரத்தில் பறக்கின்றன. சாமான்களை ஏற்றிச் செல்வதற்கு விண்கலங்கள் பயனுடையவைகளாய் இருக்கும் என நம் பப்படுகிறது.

சில மில்லியன் வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தம்

சிறு பரப்பின் மீது மிக அழுத்தம் செயல்படுவதை நாம் அன்றுட வாழ்க்கையில் பார்க்க நேரிடுகிறது. உதாரணமாக நாம் ஊசி முனையில் செயல்படும் அழுத்தத்தை நாம் மதிப் பிடுவோம். ஊசி அல்லது ஆணி முனையின் நேர்கோட்டுப் பரிமாணம் 0.1 மி.மீ என்றிருப்பதாகத் தற்கோள் கொள்

வோம். கூர்முனையின் பரப்பளவு கிட்டத்தட்ட 0.0001 செ.மீ^{2} ஆகும் என்பதை இது குறிப்பால் அறிவிக்கிறது. இத்தகையதொகு ஆணியின் மீது குறைந்த விசையாகிய 10 கி.கி.வி செயல்பட்டால், ஆணியின் முனை 100,000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்தைச் செலுத்துகிறது. கூர்முனையுள்ள பொருட்கள் அடர்த்தி அதிகமான பொருட்களுள் இவ்வளவு எளிதாகத் துளைத்துச் செல்வது ஆச்சரியம் தரும் செயல் அல்ல.



படம் 83

சிறு பரப்புகளின் மீது மிக அதிகமான அழுத்தங்களைஉண்டாக்குவது மிகவும் சாதாரணமான செயல் என்பது இவ்வுதாரணத்திலிருந்து தெரிய வருகிறது. மிகப்பெரிய பரப்புகளின் மீது மிக அதிகமான அழுத்தங்களை உண்டாக்கும் பொழுது சூழ்நிலை முற்றிலும் மாறுபட்டதாயிருக்கிறது.

ஆய்வகச் சூழ்நிலைகளின் கீழ் அதிக அழுத்தங்களை உண்டாக்குவது ஆற்றல் வாய்ந்த அழுத்தும் இயந்திரங்களால், உதாரணமாக, நீரியல் அழுத்தியால் (படம் 83) சாதிக்கப்படுகிறது. அழுத்தும் இயந்திரத்தின் விசை, சிறு பரப்பைக் கொண்டுள்ள உந்துத்தண்டுக்குக் கடத்தப்படுகிறது. இவ்விசை, நாம் அதிக அழுத்தத்தை உண்டாக்க விரும்பும் பாத்திரத்தினுள் விசையுடன் உந்துத்தண்டைத் தள்ளுகிறது.

குறிப்பிட்ட எந்த இடற்பாடும் இன்றி, சில ஆயிரம் வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தங்களை ஏற்படுத்தலாம். ஆனால் மீள் உயர் (ultra high) அழுத்தங்களை ஏற்படுத்த வேண்டுமானால், நாம் பரிசோதனையைச் சிக்கல்

நிறைந்ததாகச் செய்ய வேண்டியிருக்கிறது. ஏனெனில் பாத்திரம் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் பருப்பொருள் இத்தகைய அழுத்தங்களைத் தாங்கிக் கொள்ள இயலாது.

இம்முயற்சியின் பாதி வழியில் இயற்கை நமக்கு கை கொடுத்து உதவுகிறது. 20,000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்துக்கு உட்படுத்தப்படும் பொழுது, உலோகங்கள் அதிகம் பலமுள்ளவைகளாகத் தோன்றுகின்றன. ஆகவே மீள் உயர் அழுத்தங்களை உண்டாக்கும் கருவிகள் 30,000 வளியழுத்தங்கள் அளவில் செயல்படும் அழுத்தங்களுக்குட்படுத்தப்பட்ட திரவத்தினுள் மூழ்கியிருக்கின்றன. இச்சூழ்நிலையின் கீழ் நாம் சில நூறாயிரம் வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தங்களை உண்டாக்க முடிகிறது (ஆனால் உந்துத்தண்டின் உதவியுடன்தான்). பெர்சி வில்லியம்ஸ் ப்ரீட்ஜ்மேன் என்னும் பெயர் கொண்ட அமெரிக்க இயற்பியல் அறிஞரால் 400,000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான மிக அதிகமான அழுத்தம் உண்டாக்கப்பட்டது.

மீள் உயர் அழுத்தத்தை உண்டாக்குவதில் நாம் கவனம் செலுத்துவதெல்லாம், அதை உபயோகப்படுத்துவதற்காகத்தான். மற்ற வழிளில் தூண்டப்பட முடியாத இயற்பாடுகள் இத்தகைய அழுத்தங்களில் நடைபெற முடிகிறது. 1955ல் செயற்கை வைரங்கள் செய்யப்பட்டன. 100,000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தமும் அதனுடன் 2300°C வெப்பநிலையும் இதற்குத் தேவைப்பட்டன.

நைட்ரோகிளிசரின், ட்ராடில் போன்ற திட அல்லது திரவ வெடி பொருட்கள் வெடிக்கும் பொழுது அதிகப் பரப்புகளின் மீது 300,000 வளியழுத்தங்கள் அளவில் செயல்படும் மீள் உயர் அழுத்தம் உண்டாக்கப்படுகிறது.

அணு குண்டு வெடித்தலின் பொழுது அதன் உள்ளே ஒப்பிட முடியாத அளவுக்கு அதிக அழுத்தங்களாகிய 10^{13} வளியழுத்தங்கள் தோன்றுகின்றன.

வெடித்தலின் போது உண்டாகும் அழுத்தம் மிகக் குறைந்த நேரமே செயல்படுகிறது. பூமி உள்ளிட்ட வானத்துப் பொருட்களின் உள்ளே அதிக ஆழத்தில் காலத்தால் மாறுத அதிக அழுத்தங்கள் செயல்படுகின்றன. பூமியின் மையத்தில் செயல்படும் அழுத்தம் கிட்டத்தட்ட 3 மில்லியன் வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமாகும்.

பரப்பு இழுவிசை (surface tension)

உடலில் ஈரப்பசை இல்லாமல் நீச்சல் குளத்திலிருந்து வெளியே வருவது சாத்தியமானதா? ஒருவர் தண்ணீர் நனைக்க முடியாத பொருளை உடல் முழுவதும் பூசியிருந்தால் இது சாத்தியமானதே!

கையில் மெழுகைத் தேய்துக் கொண்டு, தண்ணீரின் கீழ் வைக்கவும். கையை நாம் வெளியே எடுக்கும் பொழுது ஒரு துளிகளைத் தவிர வேறு தண்ணீர் நம் விரல்களில் இல்லாதிருப்பதைக் காணலாம். இலேசான அசைவினுல் அத்துளிகளும் கீழே விடுகின்றன.

இவ்வுதாரணத்தில், தண்ணீர் மெழுகை நனைக்கவில்லை என நாம் கூறுகிறோம். பாதரசம் பெரும்பாலும் எல்லாத் திடப்பொருள்களுடனும் இதே வகையில்தான் நடந்து கொள்கிறது. பாதரசம் தோல், கண்ணுடி, மரம் போன்றவற்றை நனைப்பதில்லை.

தண்ணீர் அதிக நிலையில்லாமல் இருக்கிறது. இது சில பொருட்களுடன் நெருக்கமாக ஒட்டிக் கொள்கிறது. மற்ற பொருட்களைத் தொடாமலிருப்பதற்கு முயற்சிக்கிறது. தண்ணீர் எண்ணெய்ப் பரப்புகளை நனைப்பதில்லை. ஆனுல் சுத்தமான கண்ணுடியை முழுவதுமாக நனைத்து விடுகிறது. மரம், காகிதம், கம்பளி ஆகியவற்றைத் தண்ணீர் நனைக்கிறது.

சுத்தமான கண்ணுடித் தட்டின் மீது நீர்த்துளி வைக்கப்பட்டால் அது வெளிப் புறம் நோக்கிப் பரந்து சிறிய ஆழமில்லாத குட்டையை அமைக்கிறது. மெழுகுத் துண்டின் மீது இது போன்ற நீர்த்துளி ஒன்று வைக்கப்பட்டால், கிட்டத்தட்ட கோள வடிவம் கொண்ட, ஈர்ப்பிஞல் மட்டும் சிறிது தட்டையாக்கப்பட்ட துளியாக இருக்கிறது.

பெரும்பாலான பொருட்களுடன் ஒட்டிக் கொள்ளும் பொருட்களுள் மண்ணெண்ணெய் ஒன்ருகும். கண்ணுடி அல்லது உலோகத்தின் வழியே பாய முயற்சிக்கும் தன்மையுடைய மண்ணெண்ணெய், சரியாக மூடப்படாத பாத்திரத்திலிருந்து வெளியில் பார்ந்து பரவும் இயல்புடையதாயிருக்கிறது. சிந்திய மண்ணெண்ணெய் குட்டை ஒருவரின் நீண்ட நாள் வாழ்க்கையைப் பாதிக்க முடிகிறது; மண்ணெண்ணெய் அதிகப் பரப்பளவைப் பிடித்துக் கொள்கிறது. வெடிப்புகளுள் ஊர்ந்து செல்கிறது. ஒருவரின் ஆடைகளுக்குள் ஊடுருவிச் செல்கிறது. இதஞல்தான், இதன் விரும்பத்தகாத நாற்றத்தைப் போக்குவது மிகக் கடினமாயிருக்கிறது.

பொருட்களை நனைக்க இயலாத தன்மை புதுமையான இயற்பாடுகளுக்குத் தூண்டுதலாய் அமைகிறது. ஊசியை எடுத்து, அதன் முழுவதும் மெழுகைத் தடவி தண்ணீரின் மீது கிடைமட்டத்திலிருக்குமாறு கவனமாக வைக்கவும். ஊசி மூழ்குவதில்லை. கவனத்திடன் நோக்கிஞல், ஊசி தண்ணீரை அமுக்கி அதஞல் உண்டாகும் சிறு இடைவெளியில் அமைதியாக அமர்ந்திருப்பதை நாம் பார்க்க முடிகிறது. ஆயினும், தண்ணீரின் அடிப்பாகத்துக்கு ஊசியை அனுப்புவதற்கு சிறு அழுத்தமே போதுமானதாக இருக்கிறது. இதற்கு, ஊசியின் அதிக பாகம் தண்ணீரினுள் இருக்க வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. கால்களை நனைக்காமல் நீர்ப் பரப்பில் வேகமாக ஓடும் ''நீர் வாழ்முட்டைகள்'' (water-bugs)

கவனத்தை ஈர்க்கும் இத்தன்மையை உபயோகப்படுத்துகின்றன.

மிதக்க விடுதலின் மூலம் தாதுப்பொருட்களைச் சுத்தம் செய்வதில் ''நனைத்தல்'' உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. ''மிதக்க விடுதல்'' என்னும் சொல் மேற்பரப்புக்குக் கொண்டு வருதல் என்ற பொருளைக் கொண்டிருக்கிறது. இவ்வியற்பாட்டின் சாராம்சம் கீழ்வருமாறு: மிக நுண்ணிய தாகப் பொடியாக்கப்பட்ட தாதுப்பொருள் தண்ணீரைக் கொண்டுள்ள அண்டாவினுள் செலுத்தப்படுகிறது. பிரத் யேகமான எண்ணெய் சிறு அளவில் இதனுடன் சேர்க்கப் படுகிறது. இது தூசுத் துகள்களை (தாதுப்பொருளின் தேவையற்ற பகுதி இவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது) நனைக் காத, ஆனால் உபயோகமான தாதுப்பொருள் துகள்களை நனைக்கக் கூடிய தன்மையைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். கலக்கப்படும் பொழுது உபயோகமான தாதுப்பொருள் துகள் கள் எண்ணெயின் மென் பூச்சால் மூடப்பட்டிருக்கின்றன.

தாதுப்பொருள், தண்ணீர், எண்ணெய் ஆகியவை அடங் கிய கருப்புக் கலவையினுள் காற்று செலுத்தப்படுகிறது. நுரை வடிவில் சிறு காற்றுக் குமிழிகள் மேற்பரப்பை நோக்கிச் செல்லுகின்றன. எண்ணெய் பூசப்பட்ட துகள் கள் காற்றுக் குமிழிகளுடன் ஒட்டிக் கொள்கின்றன என் னும் உண்மையையே மிதத்தல் முறை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கிறது. பெரிய குமிழி, பலூன் போன்ற சிறு துகளை மேல் நோக்கி எடுத்துச் செல்கிறது.

நுரையுடன் சேர்ந்து உபயோகமான தாதுப்பொருள் மேற்பரப்புக்கு வருகிறது. தூசு அடியிலேயே தங்கி விடு கிறது. நுரை பிரித்தெடுக்கப்பட்டு, மேலும் பத்து மடங் குக் குறைவான தூசியைக் கொண்டிருக்கும் ''செறிவான தாது'' (concentrate)வைப் பெறுவதற்காக மேற்கொண்டு செயல்முறைக்கு அனுப்பப்படுகிறது.

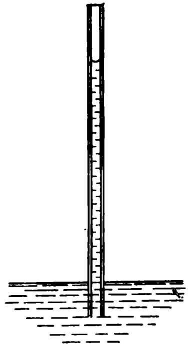
மேற்பரப்புகளுக்கிடையே செயல்படும் ஒட்டுப் பண்பின் விசைகள் இணைக்க ப்பட்டிருக்கும் இரு பாத்திரங்களில் திரவ மட்டங்களை மட்டப்படுத்தப்படுவதை எதிர்க்கும் இயல்புடையனவாயிருக்கின்றன. இதில் அடங்கியிருக்கும் உண்மையை உறுதி செய்வது மிக சுலபமாயிருக்கிறது.

மெல்லிய கண்ணாடிக் குழாய்(ஒரு மில்லி மீட்டரின் ஒரு பகுதியை விட்டமாகக் கொண்டிருக்கும்)ஒன்றைத் தண்ணீரினுள் இறக்கும் பொழுது இணைக்கப்பட்டிருக்கும் பாத்திரங்களின் விதிக்கு எதிராக, இக்குழாயில் தண்ணீர் வேகமாக மேலேற ஆரம்பித்து இதன் நீர் மட்டம் பெரிய பாத்திரத்தின் மட்டத்தைவிட அதிக உயரத்தில் அமைகிறது (படம் 84).

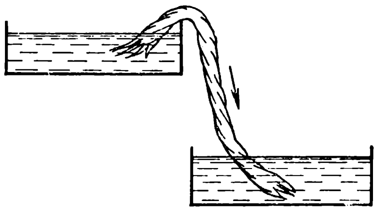
ஆனால் என்ன நிகழ்ந்தது? மேலே ஏறியிருக்கும் தண்ணீர் ஸ்தம்பத்தின் எடையைத் தாங்கிக் கொண்டிருக்கும் விசைகள் யாவை? தண்ணீர் மற்றும் கண்ணாடிக்கிடையே செயல்படும் ஒட்டும் பண்பின் விசைகளால் இது நிகழ்கிறது.

போதுமான அளவு மெல்லிய குழாயில் திரவம் ஏறும் பொழுதுதான் பரப்புகளுக்கிடையே செயல்படும் ஒட்டும் பண்பின் விசைகள் தெளிவாக வெளிப்படுகின்றன. குழாயின் ஒடுக்கம் அதிகமானல், திரவத்தின் ஏற்றமும் அதிகரிக்கிறது; இயற்பாட்டையும் அதிகத் தெளிவாகப் பார்க்க முடிகிறது. இப்பரப்பு இயற்பாடுகளின் பெயர் குழாய்களின் பெயர்களுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது. இத்தகைய குழாயின் உட்புற விட்டம் மில்லிமீட்டரின் பகுதிகளில் அளக்கப்படுகிறது; இப்படிப்பட்ட குழாய் நுண்குழல்(''முடியைப் போன்று மெல்லிய'' என்னும் பொருளுடைய) என அழைக்கப்படுகிறது. மெல்லிய குழாய்களில் திரவம் ஏறும் இவ்வியற்பாடு நுண்குழன்மை (capillarity) என அழைக்கப்படுகிறது.

ஆனல் நுண்குழல்கள் எவ்வளவு உயரம் வரை திரவத்தை மேலேற்ற முடிகிறது? 1 மி.மீ விட்டத்தைக் கொண்ட குழாயில் தண்ணீர் 1.5 மி.மீ உயரத்துக்கு ஏறு



படம் 84



படம் 85

கிறது என்று தெரியவருகிறது. குழாயின் விட்டம் 0.01 மி.மீ ஆகும் பொழுது, குழாயின் விட்டம் குறைந்திருக்கும் அத்தனை மடங்குகள் தண்ணீர் அதிக உயரத்துக்கு அதாவது 15 செ.மீக்கு ஏறுகிறது.

நனைதலினாலேயே திரவத்தின் ஏற்றம் நடைபெறுவது சாத்தியமாகிறது. பாதரசம் கண்ணாடிக் குழாயில் ஏறாது என்பதைக் கணிப்பது கடினமானது அல்ல. மாறாக, கண்ணாடிக் குழாய்களில் பாதரச மட்டம் கீழ் இறங்குகிறது. மொத்தப் பரப்பை ஈர்ப்பு அனுமதிக்கும் அளவுக்குச் சிறுமமாகக் குறைக்க முயற்சிக்கும் அளவுக்குக் கண்ணாடியுடன் ஒட்டுவதைப் பாதரசம் வெறுக்கிறது.

மிக நுண்ணிய குழாய்களின் தொகுதியைப் போன்று பல பொருட்கள் இருககின்றன. இப்பொருட்களிலும் நுண் குழல் இயற்பாட்டை எப்பொழுதும் காட்சிப் பதிவுசெய்ய முடிகிறது.

செடிகளும் மரங்களும் நீளமான நாளங்களையும் நுண் துளைகளையும் உடைய முழுத் தொகுதியைக் கொண்டிருக்கின்றன. இந்நாளங்களின் விட்டங்கள் ஒரு மில்லிமீட்டரில் நூறில் ஒரு பகுதியைவிடச் சிறியதாயிருக்கிறது. இதனால்,

நுண்குழல் விசைகள் மண்ணின் ஈரத்தை அதிக உயரத் துக்கு ஏற்றி, செடி முழுவதும் தண்ணீரைப் பரப்புகிறது.

மை உறிஞ்சும் தாள் மிகவும் பொருத்தமான உதாரண மாகும். ஒரு பக்கத்தில் நாம் சிறிது மையைச் சிதறிய பின்னர், அப்பக்கத்தைப் புரட்ட விரும்புகிறோம். ஆனால், மை தானாக உலரும் வரை நாம் பொறுத்திருக்கப் போவ தில்லை. மை உறிஞ்சும் தாள் துண்டு ஒன்றை எடுத்து, அதன் முனைகளில் ஒன்றை மைத்துளியில் அமிழ்த்துகிறோம்; ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக மை வேகமாக மேல் நோக்கி ஏறு கிறது.

இது நுண்புழை இயற்பாட்டின் நல்ல உதாரணமாக அமைகிறது. நுண்ணோக்கியின் வழியே மை உறிஞ்சும் தாளை நாம் பார்த்தால், அதன் இயலமைப்பைப் பார்க்க முடிகி றது. இத்தகைய காகிதம் ஒன்று காகித இழைகளாலான நெருக்கமற்ற வலைப்பின்னலைக் கொண்டிருக்கிறது. இந்த இழைகள் ஒன்றோடு ஒன்று சேர்ந்து நீளமான, மெல்லிய நாளங்களை இணைக்கும். இந்நாளங்கள் நுண்குழல்களின் செயலை ஆற்றுகின்றன.

இதே வகையைச் சேர்ந்த, இழைகளால் அமைக்கப் பட்ட நீண்ட நுண் துளைகள் அல்லது நாளங்களின் தொகுதி விளக்குத் திரிகளிலும் அமைந்திருக்கிறது. விளக்குத் திரி மூலம் மண்ணெண்ணெய் மேலேறுகிறது. திரியின் நுனிகளில் ஒன்றைப் பாதியளவு நீரால் நிரப்பப்பட்ட பாத்திரத்தி னுள் வைத்து, அப்பாத்திரத்தின் முனை வழியே தொங்கு கிற மற்றொரு நுனி முதல் நுனியைவிடத் தாழ்வாக இருக் கும்படி அமைப்பதனால் திரியை உபயோகப்படுத்தி வடி குழாயை அமைக்க முடிகிறது (படம் 85).

நூல் இழைகளால் அமைக்கப்பட்ட மெல்லிய நுண் துளைகள் மூலம் துணி திரவத்தை உறிஞ்சும் திறமை வர்ணத் தொழிற்சாலையின் தொழில் நுணுக்கத்தில் அடிக்கடி உப யோகப்படுத்தப்படுகிறது.

ஒன்பது

உலகின் அமைப்புக் கற்கள்

தனிமங்கள் (elements)

நம்மைச் சூழ்ந்து அமைந்திருக்கும் உலகம் எதனுல் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது? நம்மை வந்தடைந்திருக்கும் இக்கேள்வியின் பதில்கள் முதலாவது, 25 நூற்ருண்டுகட்கு முன்னர் பண்டைக் கால கிரீசிலிருந்து தோன்றியது.

முதல் கண்ணேட்டத்தில், இப்பதில்கள் எவ்வளவு வித்திரமாயிருக்க வேண்டுமோ அவ்வளவு விசித்திரமாயிருக்கின்றன; எல்லாமே நீரால் அமைந்திருக்கின்றன என்று உறுதியுடன் கூறிய பாலேஸ், உலகம் காற்ருல் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது என்று கூறிய ஆனுக்சிமேன் அல்லது எல்லாமே தீயால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது எனக் கருத்துத் தெரிவித்த ஹெர்குலிஸ் போன்ற பழங்கால அறிஞர்களின் தருக்க முறைகளனைத்தையும் வாசகர்களுக்கு விவரிக்க விரும்பினுல், மிக அதிகமான காகிதத் தாள்களை வீணுக்க வேண்டியிருக்கும்.

இத்தகைய விளக்கங்களின் முரண்பாடுகள், பிற்காலத்திய கிரேக்க நாட்டைச் சேர்ந்த ''ஞானத்தை நேசிப்பவர்கள்'' (தத்துவ அறிஞர் என்ற சொல் இவ்வாறுதான் மொழிபெயர்க்கப்படுகிறது) ''அடிப்படை இயல்புகளை'' அல்லது பழங்காலத்தில் அழைக்கப்பட்டது போன்று தனிமங்களின் எண்ணிக்கையை அதிகரிப்பதற்குத் தூண்டு கோலாய் அமைந்தது. பூமி, நீர், காற்று, தீ ஆகிய நான்கு தனிமங்

கள் இருக்கின்றன என எம்பெடொகில்ஸ் உறுதியுடன் கூறினர். இந்த ஆராய்ச்சியின் முடிவான திருத்தத்துக்கு (மிக நீண்ட நாட்களாகவே) அரிஸ்டாட்டில் உதவினர்.

அரிஸ்டாட்டிலின் கொள்கைப்படி, எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே ஒரு வஸ்துவாலேயே ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஆனால் இவ்வஸ்து மாறுபட்ட இயல்புகளை ஏற்றுக் கொள்ள முடியும். குளிர்ச்சி, வெப்பம், ஈரம், வறட்சி முதலிய நான்கு சார்பற்ற இயல்புகள் தனிமங்களுக்கு இருக்கின்றன. சதைகளாகச் சேர்த்து ஒரு வஸ்துவுக்குக் கொடுக்கப்படும் பொழுது, அரிஸ்டாட்டிலின் தனிமங்கள் எம்பெடொகில்ஸின் தனிமங்களை அமைக்கின்றன. இவ்வாருக, வறட்சியும் குளிர்ச்சியும் பொருந்திய ஒரு வஸ்து பூமியைக் கொடுக்கிறது. வறட்சியும் வெப்பமும் தீயையும் ஈரமும் குளிர்ச்சியும் தணீரையும், முடிவாக ஈரமும் வெப்பம் காற்றையும் கொடுக்கின்றன.

ஆயினும், பல கேள்விகளுக்குப் பதிலளிக்கையில் ஏற்பட்ட இடர்பாடுகளை நீக்குவதற்காக, பழங்காலத்திய தத்துவ அறிஞர்கள் நான்கு தனிம தன்னியல்புகளுடன் ஒரு புனித அடிப்படை நுண் பொருட் கூற்றையும் சேர்த்தனர். இது பலதரப்பட்ட தனிமத் தன்னியல்புகளைச் சேர்த்து செய்யப்படும் தெய்வீகம் கலந்த ஒருவகையான சமையலாகும். தெய்வத்தைக் குறிப்பிடுவதால் ஏற்படும் எந்தக் குடும்பத்தையும் விளக்குவது கடினமானதல்ல.

ஆனல் வெகு காலம் வரையிலும் கிட்டத்தட்ட 18ம் நூற்றுண்டு வரையிலும், மிகச் சிலரே குழப்பமடைந்து துணிவுடன் கேள்வி எழுப்பினர். அரிஸ்டாட்டிலின் கூற்றுக்கள் கிறித்துவ திருச்சபையால் அங்கீகரிக்கப்பட்டது. அவற்றின் முறைமைத் தகுதி பற்றிய எந்தச் சந்தேகமும் கிறித்துவத் திருச்சபையின் ஏற்பமைதிக்கு மாருன கருத்தாக இருந்தது.

ஆனல் எப்படியோ இந்தச் சந்தேகங்கள் எழுந்தன. அவை இடைக் காலத்து வேதியலில் எழுதப்பட்டன.

வெகு காலத்துக்கு முன்னர் வாழ்ந்த மக்கள், அவர்களைச் சூழ்ந்திருக்கும் எல்லாப் பொருட்களும் ஏனைய பொருட்களாக நிலைமாற்றம் அடையும் தன்மையுடையவை என அறிந்திருந்தனர். அக்காலத்திய வாழ்க்கையைத் தெளிவாகப் படம் பிடித்துக் காட்டும் பழைய கைப்பிரதிகளை வாசிப்பதின் மூலம் இதை அறிய முடிகிறது. எரிதல், தாதுப் பொருட்களை வறுத்தல், உலோகங்களை உறுக்குதல் முதலிய எல்லா இயற்பாடுகளும் நன்கு அறியப்பட்டிருந்தன.

இது அரிஸ்டாட்டிலின் கொள்கையை மறுப்பதாகத் தோன்றவில்லை. ஒவ்வொரு நிலைமாற்றத்தின் போதும் தனிமங்களின் அளவுகள் (dosage) என்றழைக்கப்படும் பண்பு மாறியது. முழு உலகமும் நான்கு தனிமங்களால் மட்டுமே அமைக்கப்பட்டிருந்தால், பொருட்களின் நிலைமாற்றங்களுக்கான சாத்தியக் கூறுகள் மிக அதிகமாக இருக்க வேண்டும். ஏதேனும் ஒரு பொருளிலிருந்து மற்ருெரு பொருளைப் பெற வேண்டுமானுல், என்ன செய்ய வேண்டும் என்ற இரகசியத்தை மட்டுமே கண்டுபிடிக்க வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது.

பொன்னை உண்டாக்குவதற்கு அல்லது தன்னை வைத்திருப்பவர்களுக்குச் செல்வம், அதிகாரம் என்றும் மாருத இளமை ஆகியவற்றைக் கொடுக்கும் ''தத்துவ அறிஞர்களின் கல்'' என்னும் ஒரு பிரத்யேகமான அசாதாரணக் கல் ஒன்றைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு நாம் எவ்வளவு ஆசைப்படுகிருேம். தங்கம், தத்துவ அறிஞர்களின் கல் முதலியவற்றை உருவாக்குதல், எந்த ஒரு பொருளையும் மற்ருெரு பொருளாக நிலைமாற்றம் செய்தல் ஆகியவற்றைக் கொண்ட அறி

வியல் பழங்கால அராபியர்களால் இடைக் கால வேதியல் என அழைக்கப்பட்டது.

இப்பிணக்குகளுக்குத் தீர்வு காணும் முயற்சியில் தங்களை அர்ப்பணித்துக் கொண்ட மக்களின் உழைப்பு பல நூற்றாண்டுகளாகத் தொடர்ந்து நடைபெற்றது. பொன்னை எவ்வாறு உண்டாக்குவது என்பதைப் பற்றியோ, தத்துவ அறிஞர்களின் கல்லைக் கண்டுபிடிப்பது பற்றியோ இடைக் கால வேதியல் அறிஞர்கள் அறிந்திருக்கவில்லை; ஆனால் பொருட்களின் நிலைமாற்றம் சம்பந்தப்பட்ட மதிப்பு வாய்ந்த பல உண்மைகளைத் திரட்டியதன் மூலம் இதை ஈடு செய்தனர். இறுதிப் பகுப்பாய்வின் பொழுது, இவ்வுண்மைகள் இடைக் கால வேதியலுக்கு மரண தண்டனையாகச் செயல்பட்டன. தனிமங்கள் எனப்படும் அடிப்படை வஸ்துக்களின் எண்ணிக்கை நான்குடன் ஒப்பிட முடியாத அளவுக்கு மிகப் பெரியதாக இருக்கிறது என்பது 17ம் நூற்றாண்டில் பலருக்கு வெளிப்படையாகத் தெரிய வந்தது. பாதரசம், ஈயம், கந்தகம், தங்கம், ஆன்டிமணி முதலியவை பிரிவீடு செய்யப் பட முடியாத வஸ்துக்களாக இருந்தன. இவ்வஸ்துக்கள் தனிமங்களாலேயே ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன என இன்னும் நாம் கூற இயலாது. இதற்கு மாறாக, நாம் இவற்றை உலகத் தனிமங்களின் வரிசையில் வைக்க வேண்டும்.

‘‘**ஐயுறவு மனப்பான்மையுடைய வேதியியல் அறிஞர்களின் தனிமங்களைப் பற்றிய ஐயங்களும் முரண்பாடுகளும்**’’ என்ற ராபர்ட் பாய்லின் புத்தகம் 1661ல் இங்கிலாந்தில் பிரசுரிக்கப்பட்டது. தனிமத்தைப் பற்றிய முற்றிலும் புதுமையான வரையறை ஒன்றை நாம் இப்புத்தகத்தில்தான் காண்கிறோம். இது, இனியும் இடைக் கால வேதியியல் அறிஞர்களின் திட்டமாகக் கூறப்படாத புதிரான பொருள் தன்மையற்ற தனிமம் அல்ல. பொருளின் மூலக் கூற்றுப்

பகுதியாக விளங்கும் வஸ்துவே தனிமம் என விளக்கப்படு கிறது.

தனிமத்தின் கொள்கையைப் பற்றிய நவீன வரையறுப் புடன் இது ஒத்துருக்கிறது.

பாய்ல் அறிவித்த தனிமங்களின் பட்டியல் மிகப் பெரி யதாக இருக்கவில்லை. சரியான பட்டியலில் அவர் தீயைச் சேர்த்தார். பாய்ல் காலத்துக்குப் பின்னரும் தனிமங்களின் தன்னியல்புகள் பற்றிய கருத்து நிலவியது. வேதியலின் அடிகோலி என்று கருதப்படும் தலை சிறந்த பிரெஞ்சு அறி வியல் அறிஞராகிய அன்டொனி லாரென்ட் லவாய்சியர் அறிவித்த பட்டியலில்கூட உண்மையான தனிமங்களுக்குப் பக்கத்திலேயே வெப்பம், ஒளி ஆகியவற்றை உண்டு பண் ணக்கூடிய வஸ்துக்களைச் சேர்ந்த கணிக்க முடியாத தனி மங்களும் இடம் பெற்றிருந்தன.

18ம் நூற்றுண்டின் முற்பாதியில் 15 தனிமங்கள் அறி யப்பட்டிருந்தன. இந்நூற்றுண்டின் முடிவில் இவற்றின் எண் ணிக்கை 35 ஆக உயர்ந்தது. உண்மையில், இவற்றில் 23 மட்டுமே உண்மையான தனிமங்களாகும்; ஆனுல் எஞ்சி சியவை, உலகில் நிலைத்திருக்காத தனிமங்களாகும். அல் லது கூட்டுப் பொருள்களாகிய காஸ்டிக் சோடா, காஸ்டிக் பொட்டாஷ் போன்ற வஸ்துக்களாகும்.

19ம் நூற்றுண்டின் பாதியில் எண்ணிக்கையில் 50 க்கும் மேற்பட்ட பிரிக்க முடியாத வஸ்துக்கள் ஏற்கனவே வேதி யியல் கையேடுகளில் விவரிக்கப்பட்டிருந்தன.

மிகச் சிறந்த ருசிய வேதியியல் அறிஞராக மேண்டலே வின் தனிம விதி (periodic law) கண்டுபிடிக்கப்படாத தனி மங்களை உணர்வு விழிப்புடன் தேடுவதற்குப் புறத் தூண் டுதலை அளித்து, இவ்விதியைப் பற்றி விவரிப்பதற்கு இன் னும் நாம் நம்மைத் தயார் பண்ணிக் கொள்ளவில்லை. மேண்டலேவ் அவருடைய விதியின் மூலம், இதுவரை கண்

டுபிடிக்கபடாத தனிமங்களை நாம் எவ்வாறு தேட வேண்டும் என்பதைக் காட்டினர் என்று மட்டும் நாம் கூறுவோம்.

20 ம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்திலேயே இயற்கையில் அமைந்திருக்கும் தனிமங்களில் பெரும்பாலானவை கண்டுடிக்கப்பட்டு விட்டன. இவை எண்ணிக்கையில் 88 ஆகும்.

அணுக்கள்

கிட்டத்தட்ட 2000 ஆண்டுகளுக்கு முன்னர், பழங்காலத்திய ரோமில் புதுமையான கவிதை ஒன்று எழுதப்பட்டது. இதனை எழுதியவர் லுக்ரெடிஸ் என்னும் பெயருடைய ரோமானியப் புலவர் ஆவார். அவருடைய கவிதை **''பொருட்களின் இயல்பைப் பற்றியது''** என்றழைக்கப்பட்டது.

பழங்காலத்துச் சிறந்த கிரேக்க தத்துவ அறிஞராகிய டெமாகிரடிஸ் உலகைப் பற்றிக் கூறிய கருத்துக்களை லுக்ரெடிஸ் முழக்கப்படும் அடிகளைக் கொண்ட அவருடைய கவிதைகளில் கூறுகிறார்.

இக்கருத்துக்கள் யாவை? இவை, உலகம் முழுவதும் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் மிக நுண்ணிய கண்ணுக்குப் புலப்படாத துகள்களைப் பற்றிய போதனைகளாகும். பலதரப்பட்ட இயற்பாடுகளைக் காட்சிப் பதிவு செய்த பின்னர், டெமாகிரிடிஸ் இவைகளுக்கு விளக்கவுரை கொடுக்க முயற்சித்தார்.

உதாரணமாகத் தண்ணீரை எடுத்துக் கொள்ளவும். போதுமான அளவு சூடேற்றப்பட்டால் இது ஆவியாகி, பின்னர் காணுமல் போய்விடுகிறது. இதை எவ்வாறு விளக்கிக் கூற இயலும்? தண்ணீரின் இத்தகைய இயல்பு அதன் உள்ளியல்பமைப்புடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது எனத் தெரிய வருகிறது.

அல்லது உதாரணமாகத் தூரத்திலிருக்கும் பூக்களின் நறுமணத்தை நாம் ஏன் உணர்கிறோம்?

இவ்வாறான கேள்விகளின் மேல் ஆழ்ந்த சிந்தனை செய்து, பொருட்கள் திடப் பொருள்களாக மட்டுமே தோன்றுகின்றன. ஆனால் உண்மையில் இவை யாவும் மிக நுண்ணிய துகள்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்பதில் டெமாகிரிடிஸ் அசைக்க முடியாத நம்பிக்கை கொண்டிருந்தார். வெவ்வேறு பொருட்களின் துகள்கள் அமைப்பில் வேறுபட்டிருக்கின்றன. ஆனால் இத்துகள்கள் யாவும் நம் கண்களுக்குப் புலப்படாத அளவுக்கு மிகச் சிறியதாய் இருக்கின்றன. ஆகவேதான் எல்லாப் பொருட்களும் நமக்கு திடப் பொருட்களாகத் தோன்றுகின்றன.

தண்ணீர் மற்றும் ஏனைய பொருட்கள் யாவும் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் மேலும் பிரிக்கப்பட முடியாத தன்மையுடைய இத்தகைய துகள்களை டெமாக்ரிடிஸ் அணுக்கள் என அழைத்தார்(பகுக்க முடியாதது என்னும் பொருள் கொண்ட ''அடோமோஸ்'' என்ற கிரேக்கச் சொல்லிலிருந்தும்).

பண்டைக் கால கிரேக்க நாட்டைச் சேர்ந்த சிந்தனையாளர்களின் 24 நூற்றாண்டுகளுக்கு முந்திய தனிச் சிறப்பு வாய்ந்த இந்த யூகத்தை இதற்குப் பின்னர் நீண்ட நாட்களாக மறந்து விட்டனர். அரிஸ்டாட்டிலின் தவறான போதனை ஆயிரம் ஆண்டுகளுக்கு மேலாக அறிவியல் உலகத்தை முழுக் குழப்பத்துக்கு உள்ளாக்கியது.

எல்லாப் பொருட்களும் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றாகப் பரஸ்பரமாக மாற்றப்படக் கூடியவை என்பதை உறுதியுடன் கூறி, அரிஸ்டாட்டில் அணுக்கள் இருப்பதை ஆழமாக மறுத்தார். எந்தப் பொருளையும் வரம்பின்றி பிரிவீடு செய்து கொண்டே போகலாம் என அரிஸ்டாட்டில் போதித்தார்

அரிஸ்டாட்டிலின் போதனைகளை துணிவுடன் எதிர்த்தும்,

உலகில் எல்லாப் பொருட்களும் சிறிய பகுக்க முடியாத் அணுக்களாலேயே ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்பதைத் தெளிவுபடுத்தியும், பியர் காசாண்டி என்னும் பிரெஞ்சுக் காரர் ஒருவர் 1647ல் ஒரு புத்தகத்தைப் பிரசுரித்தார். அமைப்பாலும், எடையாலும், அளவாலும் அணுக்கள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வேறுபடுகின்றன ஒன்னும் கருத்தை வெளியிட்டார்.

பண்டைக் கால அணுவியல் அறிஞர்களின் போதனைகளை ஏற்றுக் கொண்டு, காசாண்டி இப்போதனைகளை மேலும் விரிவாகக் கூறினர். உலகில் மாறுபட்ட குணுதிசயங்களையுடைய, இயற்கையான பொருட்கள், மில்லியன் கணக்கில் எவ்வாறு தோன்றியிருக்கின்றன என்பதை அவர் மிகச் சரியாக விளக்கிக் கூறினர். மிக அதிக எண்ணிக்கையிலான வெவ்வேறு அணுக்கள் இதற்குத் தேவையில்லை என்று அவர் உறுதியாகக் கூறினர். ஏனெனில் அணுக்கள், வீடுகள் கட்டுவதற்குத் தேவையான பருப்பொருட்கள் போன்றவையாகும். செங்கற்கள், பலகைகள், மரத்தடிகள் ஆகிய மூன்று வேறுபட்ட கட்டிடப் பொருள்களிலிருந்து முற்றிலும் மாறுபட்டிருக்கும் மிக அதிகமான எண்ணிக்கையிலான வீடுகளைக் கட்டுவது சாத்தியமாகிறது. இதே போன்றுதான், வேறுபட்ட, பல பத்து அணுக்களிலிருக்கும், முற்றிலும் மாறுபட்டிருக்கும் ஆயிரக்கணக்கான பொருட்களை இயற்கை உருவாக்க முடியும். மேலும், ஒவ்வொரு பொருளிலும் பல தரப்பட்ட அணுக்கள் சிறு சிறு தொகுதிகளாகச் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. இத்தொகுதிகளைக் காசாண்டி மூலக்கூறுகள் அதாவது சிறு பொருண்மைகள் என அழைத்தார் (பொருண்மை என்னும் பொருள் கொண்ட மோல்ஸ் என்னும் லத்தீன் சொல்லிலிருந்து தருவிக்கப்பட்டது).

பலதரப்பட்ட பொருள்களின் மூலக்கூறுகள், அவற்றைச் சார்ந்த அணுக்களின் எண்ணிக்கையாலும், வகையாலும்

ஒன்றிலிருந்து ஒன்று மாறுபட்டிருக்கின்றன. பல பத்துக் கணக்கிலான மாறுபட்ட அணுக்களில் இருந்து, அதிக எண்ணிக்கையிலான மாறுபட்ட அணுக்களின் சேர்மங்களை—மூலக்கூறுகளை உருவாக்க முடியும் என்பதைப் புரிந்து கொள்வது கடினமானதல்ல. இதனால்தான் நம்மைச் சூழ்ந்திருக்கும் பொருட்களில் மிக அதிகமான வகைகள் இருக்கின்றன.

இருப்பினும் காசாண்டியின் கருத்துக்களில் பல தவறாகவும் இருந்தன. இவ்வாறாக, வெப்பம், குளிர்ச்சி, ருசி, வாசனை முதலியவை ஒவ்வொன்றுக்கும் பிரத்யேக அணுக்கள் இருக்கின்றன என அவர் நம்பினார். அக்காலத்தைச் சேர்ந்த மற்ற அறிஞர்களைப் போலவே இவரும் அரிஸ்டாட்டிலின் ஈடுபாட்டிலிருந்தும் தன்னை முழுவதுமாக விடுவித்துக் கொள்ள முடியாமல் அவருடைய பொருள் தன்மையற்ற தனிமங்களை ஏற்றுக் கொண்டார்.

வெகு காலத்துக்குப் பின்னர், பரிசோதனையின் மூலம் சரியானது என நிரூபிக்கப்பட்ட கீழ்வரும் கருத்துக்கள், ருசியாவில் அறிவியலுக்கு அடிகோலியவரும் மூட நம்பிக்கையைக் களைய உதவியவருமாகிய எம்.வி. லோமோனோசோவ் என்பவரின் எழுத்துப் படைப்புக்களில் அடங்கியிருக்கின்றன.

மூலக்கூறுகள் ஒரு படித்தானதாகவோ அல்லது பல படித்தானதாகவோ இருக்கலாம் என லோமோனோசோவ் குறிப்பிடுகிறார். முதல் வகை மூலக்கூறுகளில் ஒத்த அணுக்கள் தொகுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இரண்டாவது வகை மூலக்கூறுகள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று மாறுபட்ட அணுக்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன. பொருள் ஒரு படித்தான மூலக்கூறுகளால் ஆக்கப்பட்டிருந்தால், அது ஒரு தனிப்பொருள் (simple) எனக் கருதப்பட வேண்டும். மாறாக அணுக்களால் தொகுக்கப்பட்ட மூலக்கூறுகளால் ஆக்கப்பட்ட ஒரு

பொருளை லோமோனேசோவ் ''கூட்டுப்பொருள்'' (compound) என அழைக்கிறார்.

இயற்கையிலேயே அமைந்திருக்கும் பல பொருட்கள் சரியாக இத்தகைய இயல்பமைப்பையே கொண்டிருக்கின்றன என்பதை நாம் இப்பொழுது நன்கறிந்திருக்கிறோம். உதாரணமாக ஆக்ஸிஜன் வாயுவை எடுத்துக் கொள்வோம். இதன் ஒவ்வொரு மூலக்கூற்றிலும் சர்வசமமான இரு ஆக்ஸிஜன் அணுக்கள் அடங்கியிருக்கின்றன. இது தனிப்பொருளின் ஒரு மூலக்கூறாகும். ஆனால் மூலக்கூறு ஆக்கப்பட்டிருக்கும் அணுக்கள் வித்தியாசமானவைகளாய் இருந்தால், அது கூட்டுப்பொருள் அல்லது ''பல்கூட்டு வேதியியல் தொகுதி'' எனப்படும். இச்சேர்க்கையில் பங்கெடுத்துக் கொள்ளும் வேதியியல் தனிமங்களின் அணுக்களால் இதன் மூலக்கூறுகள் ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

இதனைக் கீழ்வருமாறு இன்னொரு விதமாகவும் கூறலாம். ஒவ்வொரு தனிப்பொருளும் ஒரு வேதியியல் தனிமத்தின் பல அணுக்களால் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு கூட்டுப்பொருள் இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட தனிமங்களின் அணுக்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது.

அணுக்களின் தோற்றத்துக்குச் சாதகமாகப் பல நேர்மையான வாதங்களைச் சான்றாகக் கூறிப் பல சிந்தனையாளர்கள் அணுக்களைப் பற்றிப் பேசினர். டால்டன் என்னும் ஆங்கிலேய அறிவியல் அறிஞர், அணுக்களைச் சரியான முறையில் அறிவியலுக்குள் புகுத்தி, அவற்றை ஆராய்ச்சிப் பொருட்களாக்கினார். அணுக்கள் பற்றிய கருத்துக்களை உபயோகித்து மட்டுமே, சில வேதியியல் விதி முறைகளை விளக்க முடியும் என்பதை டால்டன் நிரூபித்தார்.

டால்டனுக்குப் பின், அணுக்கள் திடமாக அறிவியலினுள் புகுந்தது. ஆயினும், நீண்ட காலம்வரை, அணுக்களில் நம்பிக்கையில்லாத அறிவியல் அறிஞர்கள் சிலரும்

இருந்தனர். சென்ற நூற்றுண்டின் இறுதியிலும் கூட, அவர்களுள் ஒருவர் ''சில பத்து ஆண்டுகள் கழிந்த பின்னர் நூலகங்களின் குப்பைகளில்தான் அணுக்களைக் காண முடியும்'' என எழுதியிருக்கிறுர்.

இத்தகைய விவாதங்கள் இப்பொழுது சிரிப்பைத் தருகின்றன. ஒரு அணுவின் வாழ்க்கையைப் பற்றிய பல்வேறு விவரங்களை நாம் இப்பொழுது தெரிந்திருக்கிறோம். ஆகவே, அணுவின் தோற்றத்தைப் பற்றிச் சந்தேகப்படுவது, கருங்கடலின் உண்மை நிலையைப் பற்றிச் சந்தேகப்படுவதற்குச் சமமாகும்.

அணுக்களின் சார்பு எடைகள் (relative masses) வேதியியல் அறிஞர்களால் தீர்மானிக்கப்பட்டன. முதலில் ஹைடிரஜன் அணு ஒன்றின் எடை, அணு எடை (atomic weight) யின் அலகாக எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டது. நைட்ரஜனின் அணு எடை கிட்டத்தட்ட 14 எனவும், ஆக்ஸிஜனின் அணு எடை கிட்டத்தட்ட 16 எனவும், குளோரினின் அணு எடை கிட்டத்தட்ட 35.5 எனவும் கணக்கிடப்பட்டது. ஆக்ஸிஜனின் கூட்டுப்பொருட்கள் மிகவும் பரவலாகத் தெரிந்திருப்பதால், அணு எடைகளைக் கணிப்பதற்குச் சற்று வித்தியாசமான அலகு தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டது. இம்முறையில் ஆக்ஸிஜனின் அணு எடை 16.000 என எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டது. இந்த அளவு முறையில் ஹைடிரஜனின் அணு எடை 1.008 எனக் குறிக்கப்பட்டது. தற்காலத்தில், கார்பனின் அணு எடை 12 என எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டு, இவ்வலகு தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

தொடர்ச்சியாகச் செய்யப்பட்ட, கவனத்தை ஈர்க்கும் பரிசோதனைகளின் விளைவாக, இயற்பியல் அறிஞர்கள் அணுக்களின் ''தனி எடையை'' அளவிட முடிந்தது. அவற்றின் சார்பு எடைகள் தெரிந்திருந்தபடியால், ஏதாவது ஒரு வகை அணுவின் எடையை, உதாரணமாக ஒரு ஹைடிர

ஜன் அணுவின் எடையை கிராமில் கணிப்பதே போதுமான தாயிருக்கிறது.

ஒரு தனி அணுவை ஒரு தட்டில் வைத்து, அடுத்த தட்டில் அதற்கு இணையான எடையை வைத்துச் சரிக்கட்டக் கூடிய தராசுகளை இயற்பியல் அறிஞர்கள் அமைக்கவில்லை. அணுக்களின் எடையைக் கணிப்பதற்கு இயற்பியல் அறிஞர்கள் வேறு அளவீடுகளை உபயோகித்தனர். ஆயினும் இந்த அளவீடுகள் நேரடியாக நிறுப்பதிலிருந்தும் துல்லியத்தில் சிறிதும் குறைந்ததல்ல.

அணு எடையின் அலகு;

$$m = 1.66 \times 10^{-24} \text{ கிராம்}$$

ஆகும்.

இந்த எண்ணின் நுண்ணிய தன்மையைப் புரிந்து கொள்ள வேண்டுமானால், பூமியிலிருக்கும் ஒவ்வொருவரிடமிருந்தும் (இதன் மக்கள் தொகை 4 பில்லியனுக்கும் அதிகமாகும்) ஒரு மில்லியன் மூலக்கூறுகளைக் கேட்பதாகக் கற்பனை செய்யவும். இவ்வாறு நாம் எவ்வளவு பருப்பொருளைச் சேகரிக்கலாம்? இது ஒரு கிராமில் சில மில்லியன்களில் ஒரு பகுதியாகும்.

அல்லது இதுபோன்று இன்னொரு ஒப்பீடு உள்ளது. பூமி, ஒரு ஆப்பிளை விட எத்தனை மடங்கு அதிகக் கனமாயிருக்கிறதோ அத்தனை மடங்குகள் ஆப்பிள் ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவைக் காட்டிலும் அதிகக் கனமாயிருக்கிறது.

m ன் எதிர் விகுதி ''அவாகாட்ரோ எண்'' என அழைக்கப்படுகிறது.

$$N_A = \frac{1}{m_A} = 6.023 \times 10^{23}$$

இம்மிகப் பெரிய எண் கீழ்வரும் முக்கியத்துவத்தைக் கொண்டிருக்கிறது. ஒரு பொருளில் அடங்கியிருக்கும்,

அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் இவற்றில் ஏதாவது ஒன்றின் சார்பு எடையாகிய M, கிராமில் அறிவிக்கப்படும் எடைக்குச் சமமாயிருக்கும்படியான அளவில் அப்பொருளை எடுத்துக் கொள்ளவும். இத்தகையதொரு அளவு 1 கிராம்—அணு அல்லது ஒரு கிராம்—மூலக்கூறு என அழைக்கப்படுகிறது (சுருக்கமாகக் கூறுவதற்காக ஒரு கிராம்—மூலக்கூறு என்பதற்குப் பதிலாக, எப்பொழுதும் ''மோல்'' என்றே நாம் குறிப்பிடுகிறோம்). இத்தகைய மூலக்கூறு ஒன்றின் எடை கிராமில் அறிவிக்கப்படும் பொழுது $M \times m$க்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆகவே எந்தப் பொருளாயினும் ஒரு கிராம்—மூலக்கூற்றில் அடங்கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை

$\frac{M}{M \times m_A} = N_A$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. அதாவது அவாகாட்ரோ எண்ணுக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

வெப்பம் என்பது என்ன?

சூடான பொருள் குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து எவ்வாறு வேறுபட்டிருக்கிறது? 19ம் நூற்றாண்டு வரைக்கும், இக்கேள்விக்குக் கீழ்வருமாறு பதிலளிக்கப்பட்டது. உப்பை அதிக அளவில் கொண்டிருக்கும் வடிசாறு அதிக உப்பையைக் கொண்டிருப்பதைப் போன்றே சூடான பொருள், குளிர்ந்த பொருளைக் காட்டிலும் அதிக அளவில் வெப்பம் உண்டாக்கும் வஸ்துவைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆனால் கலோரிக் (caloric) என்றால் என்ன? இக்கேள்விக்குக் கீழ்வருமாறு பதிலளிக்கப்பட்டது. கலோரிக் என்பது நீர்மப் பொருள் வடிவான வெப்பமாகும். அல்லது இது அடிப்படையான தீயாகும். இது புரிந்து கொள்ள முடியாததாக

வும், விளக்கமற்றதாகவும் இருக்கிறது. இப்பதில் கயிறு என்றால் என்ன என்ற கேள்விக்கு அளிக்கப்பட்ட கீழ்வரும் விளக்கத்தைப் போன்ற அதே சாரத்தையேக் கொண்டிருக்கிறது. ''கயிறு என்பது எளிய கயிற்றுத் தன்மை கொண்டதாகும்''.

கலோரிக் கொள்கையுடன் கூடவே, வெப்பத்தின் இயல்பு பற்றிய வித்தியாசமான ஒரு கருத்தும் நீண்ட நாட்களாக வழக்கில் இருந்து வந்தது. 16 லிருந்து 18 நூற்றாண்டுகள் வரைக்கும் இடைப்பட்ட காலத்தைச் சேர்ந்த தலை சிறந்த அறிவியல் அறிஞர்களால் இது முனைப்புடன் வெளிப்படையாகப் பரிந்துரைக்கப்பட்டது.

''வெப்பம் என்ற சொல்லின் சாரம் இயக்கமே தவிர வேறொன்றுமில்லை. ஒரு பொருளின் மிக நுண்ணிய துகள்களின் பல்வேறு இயக்கங்களால் வெப்பம் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது'' எனவும் ''நோவும் ஓர்கானும்'' (Novum organum) என்னும் புத்தகத்தில் பிரான்சிஸ் பேகன் எழுதியிருக்கிறார்.

ராபெர்ட் ஹூக் என்பவர் அவருடைய மைக்ரோகிராபியா (micrographia) என்னும் புத்தகத்தில் ''வெப்பம் என்பது பொருளுடைய பாகங்களின் தொடர்ச்சியான இயக்கமாகும். ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் துகள்களைக் கொண்ட பொருட்கள் எதுவுமில்லை'' என உறுதியாகக்கூறினார்.

லோமோனோசோவின் ''வெப்பம், குளிர்ச்சி முதலியவற்றின் வினைமுதல் பற்றிய பிரதிபலிப்புகள்'' (1745) என்னும் புத்தகத்தில் குறிப்பாக இவ்வகையான தெளிவான வாசகங்களை நாம் காண்கிறோம். கலோரிக் என்று ஒன்று இருப்பது இப்புத்தகத்தில் மறுத்துக் கூறப்பட்டிருக்கிறது. ''பொருளின் துகள்களின் உள் இயக்கங்களாலேயே வெப்பம் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது'' என இங்குக் கூறப்பட்டுள்ளது.

இதையே 18ம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் கவுண்ட ரம்

போர்டு எண்பவர் அதிக வரி விளக்கத்துடன் பின்வருமாறு கூறினர். ''அதிக விசையாற்றலுடன் அதிரும் பொழுது மணி அதிக சப்தமாக ஒலிப்பது போன்றே, ஒரு பொருளில் அடங்கியிருக்கும் துகள்கள் அதிக வேகத்துடன் இயங்கும் பொழுது அப்பொருள் அதிக சூடாக இருக்கும்.''

வெகு காலத்துக்கு முன்னர் செய்யப்பட்ட யூகங்கள், வெப்பத்தின் இயல்பு பற்றிய நமது தற்காலக் கருத்துக் களின் அடிப்படைகளைத் தன்னுள் கொண்டிருந்தன.

சில காலங்களில் நாட்கள் அமைதியாகவும் தெளிவாக வும் அமைகின்றன. இலைகள் இன்னும் மரங்களிலேயே இருக் கின்றன. தண்ணீரின் கண்ணாடி போன்ற மேற்பரப்பை ஒரு சிறு அதிர்வலை கூட கலைப்பதில்லை. சுற்றுப் புறம் முழுவ வதுமே, முற்றிலும் அசைவற்று, உறைந்து காணப்படுகிறது நம் கண்ணுக்குப் புலப்படும் உலகம் ஒய்வு நிலையில் இருக் கிறது. ஆனல் அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் ஆகியவற்ருலான உலகத்தில் என்ன நடைபெறுகிறது?

சம காலத்தைச் சேர்ந்த இயற்பியல் அறிஞர்கள் இது பற்றி அதிகமாகக் கூற முடியும். எந்தச் சூழ்நிலையின் கீழும், உலகத்தில் அடங்கியிருக்கும் துகள்களின் கண்ணுக்குப் புலப்படாத இயக்கம் நிறுத்தத்திற்கு வருவதில்லை.

ஆனல் இவ்வியக்கங்கள் யாவற்றையும் நாம் ஏன் பார்ப்பதில்லை? துகள்கள் இயங்குகின்றன. ஆனல் பொருள் ஓய்வுநிலையில்இருக்கிறது. இந்நிலை எவ்வாறு சாத்தியமாகிறது?

கொசுவினப் பூச்சி வகையின் தொகுதியை எப்பொழு தாவது கவனித்திருக்கிறீர்களா? காற்று வீசாமல் இருக்கும் பொழுது, இத்தொகுதி காற்றில் தொங்கிக் கொண்டிருப் பது போன்று தோன்றுகிறது. ஆனல் அத்தொகுதியினுள் தீவிர சுறுசுறுப்புடன் கூடிய வாழ்க்கை நடந்து கொண்டி ருக்கிறது. நூற்றுக் கணக்கான உயிரினங்கள் வலப்புறம் நோக்கிப் பறக்கின்றன. ஆனல் இதே சமயத்தில் இதே

அளவிலான உயிரினங்கள் இடப்புறம் நோக்கிப் பறக்கின்றன. தொகுதி முழுமையாக அதே இடத்திலேயே நிலை பெற்றிருக்கிறது; அது வடிவத்தையும் மாற்றிக் கொள்வதில்லை.

அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் ஆகியவற்றின் கண்ணுக்குப் புலப்படாத இயக்கங்களும் இதே வகையிலான தாறுமாறான, ஒழுங்கில்லாத தன்மையுடையனவாய் இருக்கின்றன. சில மூலக்கூறுகள் ஒரு இடத்தை விட்டுச் சென்று விட்டால், அந்த இடம் மற்றவைகளால் நிரப்பப்படுகின்றன. ஆனால் புதியதாக உள்ளே வந்த மூலக்கூறுகள் அவ்விடத்தை விட்டுச் சென்றவற்றிலிருந்தும் சிறிதளவேனும் வித்தியாசமின்றியிருப்பதால் பொருள் முழுவதுமாக முன்னால் இருந்த நிலையிலேயே இருக்கிறது. துகள்களின் தாறுமாறான, ஒழுங்கற்ற இயக்கங்கள் நம் கண்ணுக்குப் புலப்படும் உலகின் குணாதிசயங்களை மாற்றுவதில்லை.

ஆயினும்,''இவையெல்லாம் பயனற்ற பேச்சு அல்லவா'' என வாசகர்கள் நம்மைக் கேட்கலாம். எவ்வளவு நல்லதாயிருப்பினும், இவ்வாதங்கள் எவ்வகையில் கலோரிக் கொள்கையை விட நம்பக்கூடியதாய் இருக்கிறது. பருப்பொருளில் அடங்கிய துகள்களின் ஓயாத வெப்ப இயக்கங்களை யாரேனும் உண்மையில் பார்த்திருக்கிறார்களா?

மிக எளிய நுண்ணோக்கி (microscope) ஒன்றின் உதவியால் துகள்களின் வெப்ப இயக்கத்தைப் பார்க்க முடிகிறது. நூறாண்டுகட்கு முன்னர் இவ்வியற்பாடு ஆங்கிலேய தாவரவியல் அறிஞர் பிரௌன் என்பவரால் முதன் முதலாகக் காட்சிப் பதிவுசெய்யப்பட்டது.

ஒரு நுண்ணோக்கியின் மூலம் அவர் தாவரம் ஒன்றின் உட்புற இயல்பமைப்பை நோக்கிக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, தாவர உயிர்ச் சாற்றில் மிதந்து கொண்டிருக்கும் பொருளின் நுண்ணிய துகள்கள், எல்லாத் திசைக

ளிலும் தொடர்ந்து இயங்கிக் கொண்டிருப்பதை அவர் கவனித்தார். இத்துகள்களை இயக்கத்திற்குட்படுத்தும் விசைகள் என்ன என்பதை அறிவதில் இத்தாவரவியல் அறிஞர் மிகுந்த ஆர்வம் காட்டினர். ஒரு வேளை அவை ஒரு வகையான உயிரினங்களாக இருக்கலாம். கலங்கிய தண்ணீரில் சேர்ந்திருக்கும் களிமண்ணின் சிறு துகள்களை நுண்ணோக்கியின் அடியில் வைத்து சோதனை செய்ய வேண்டும் என இந்த அறிவியல் அறிஞர் தீர்மானித்தார். ஆனல் உயிரற்றவை என உறுதியாக எண்ணப்படும் இத்துகள்கள் ஓய்வு நிலையில் இல்லை. அவை தொடர்ச்சியான, அதே நேரத்தில் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தில் ஈடுபட்டிருந்தன. சிறிய துகள்கள் அதிக வேகமாக இயங்கின. தாவர இயல் அறிஞர் இத்தண்ணீர்த் துளியை நீண்ட நேரம் சோதித்தார். ஆனல் துகள்களின் இயக்கம் ஒரு முடிவுக்கு வருவதை அவர் பார்க்க முடியவில்லை, கண்ணுக்குப் புலப்படாத சில விசைகள் அவற்றை விடாமல் தள்ளிக் கொண்டிருப்பது போன்று தோன்றுகிறது.

துகள்களின் ப்ரௌனியன் இயக்கம் ஒரு வெப்ப இயக்கமே. வெப்ப இயக்கம், சிறிய மற்றும் பெரிய துகள்கள், மூலக் கூறுகளின் தொகுதிகள், தனிப்பட்ட அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் முதலியவற்றின் உள்ளியல்பாயிருக்கிறது.

ஆற்றல் எப்பொழுதும் அழிவின்றிப் பாதுகாக்கப்படுகிறது

இவ்வாறு, உலகம் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் அணுமையைக் கொண்டிருக்கின்றன; இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் அணுக்கள் இயக்க (kinetic) ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கின்றன. ஆனல் ஒரு அணுவின் பொருண்மை நம் கற்பனைக்கு

எட்படாத அளவுக்குச் சிறியதாயிருக்கிறது. ஆகவே இதன் ஆற்றலும் மிக நுண்ணியதாகவே இருக்கிறது. ஒவ்வொரு சிறு பொருளிலும் பில்லியன் பில்லியன் அணுக்கள் அடங்கியிருக்கின்றன.

ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியைப் பற்றி நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருந்தாலும், இது ஒரு போதுமான அனைத்து அழிவின்மை விதியாக அமையாது என்பதை நாம் இங்கு வாசகர்களுக்கு நினைவுபடுத்துகிறோம். பரிசோதனைகளின்படி நேர் உந்தமும், கோண உந்தமும் அழிவின்றிப் பாதுகாக்கப்படுகின்றன. ஆனால் ஆற்றல் இலட்சியச் சூழ்நிலைகளில் மட்டுமே—அதாவது உராய்வு இல்லாமலிருக்கும் பொழுது மட்டுமே—அழிவின்றிப் பாதுகாக்கப்படுகிறது. ஆனால் உண்மையில் ஆற்றல் எப்பொழுதும் குறைக்கப்படுகிறது.

ஆனால், அணுக்களின் ஆற்றலைப் பற்றி நாம் முன்னதாக ஏதும் சொல்லவில்லை. ஆற்றலில் குறைவு ஏற்படுவதை நாம் முதலில் கவனித்த பொழுது, சாதாரண கண்களுக்குப் புலப்படாத முறையில் சிறிது ஆற்றல் பொருளின் அணுக்களுக்குக் கடத்தப்பட்டது என்னும் இயல்பான ஒரு கருத்து மேலெழுந்த வாரியாக எழலாம்.

அணுக்களும் இயந்திரவியல் விதிகளுக்கு உட்படுத்தப்படுகின்றன. (வாசகர்கள் மற்றொரு புத்தகத்திலிருந்து இதை அறிந்து கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது) அவற்றின் இயந்திரவியல் சிறிது தனித்தன்மையுடையதாயிருக்கிறது. ஆனால் இச்சூழ்நிலை, இயந்திர ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியை பொறுத்த மட்டில் எதையும் மாற்றுவதற்கில்லை. அணுக்கள் பெரிய பொருள்களிலிருந்து எவ்விதத்திலும் வேறுபட்டவை அல்ல.

ஆகவே பொருளின் ஆற்றலுடன் பொருளின் சுற்றுப்புறம் ஆகியவற்றின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல்களையும் கணக்

கில் சேர்த்துக் கொண்டால்தான் ஆற்றலின் முழு அழிவின் மையைத் தடங்காண முடியும். இச்சூழ்நிலையில் மட்டுமே இது அனைத்து விதியாகும்.

ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றல் எவற்ருல் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது? இதன் முதல் மூலக்கூற்றுக்கு நாம் ஏற்கனவே பெயர் சூட்டி விட்டோம். இது, அதன் எல்லா அணுக்களின் இயக்க ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகையாய் இருக்கிறது. ஆனல், அணுக்கள் ஒன்றுக்கொன்று செயலெதிர்ச் செயற்பாடு கொண்டிருக்கின்றன என்பதை நாம் மறந்துவிடக் கூடாது. ஆகவே இச்செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டின் நிலையாற்றலும் சேர்த்துக் கொள்ளப்படுகிறது. இவ்வாறு, ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றல் அப்பொருளில் அடங்கியிருக்கும் துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்கள் மற்றும் அவற்றின் செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டின் நிலையாற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

ஒரு பொருளின் இயந்திர ஆற்றல் முழுமையும், அதன் மொத்த ஆற்றலின் ஒரு பகுதியேயாகும் என்பதை நாம் அறிந்து கொள்வது கடினமல்ல. ஏனெனில், ஒரு பொருள் ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் பொழுது, அதன் மூலக்கூறுகள் அவற்றின் இயக்கங்களை நிறுத்துவதில்லை. ஒன்ருேடொன்று கொண்டிருக்கும் செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டையும் நிறுத்துவதில்லை. ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் ஒரு பொருளில் அடங்கியிருக்கும் துகள்களின் வெப்ப இயக்கத்தின் ஆற்றல், துகள்களுக்கிடையே செயல்படும் செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டின் ஆற்றல் ஆகியவையே பொருளின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை ஆக்குகின்றன. ஆகவே ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றல், உள்ளார்ந்த ஆற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

பொருள்முழுவதுக்குமானஇயந்திரஆற்றலில் அதன்ஈர்ப்பு (gravitational)ஆற்றலும்சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது.அதாவது,பூமி

யுடன் அப்பொருளின் துகள்கள் கொண்டிருக்கும் செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டு நிலையாற்றலும் சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது.

உள்ளார்ந்த ஆற்றலையும் கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ளும் பொழுது ஆற்றலின் அழிவை நாம் தடங்காண முடிவதில்லை. உலகைப் பல மில்லியன் மடங்குகள் உருப்பெருக்கம் செய்யக் கூடிய கண்ணாடிகளின் வழியே நாம் இயற்கையை நோக்கும் பொழுது, கிடைக்கும் காட்சி, நாம் மிகவும் ஒத்துக் கொள்ளக்கூடியதாக இருக்கிறது. இயந்திர ஆற்றலில் எந்த இழப்பும் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால், இது ஒரு பொருளின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலாகவோ அல்லது அதன் சுற்றும் புறங்களின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலாகவோ மாற்றமடைகிறது. ஆற்றல் எதுவும் அழிந்திருக்கிறதா? இல்லை! மூலக்கூறுகளின் சார்பு இயக்கத்தின் முடுக்கமாகவோ அல்லது அவற்றின் பரஸ்பர பரப்புதலின் மாறுதல் ஆகவோ ஆற்றல் மாற்றப்படுகிறது.

இயந்திர ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியை மூலக்கூறுகள் பின்பற்றுகின்றன. மூலக்கூறுகளின் உலகத்தில் உராய்வு விசைகள் இல்லை. நிலையாற்றலை இயக்க ஆற்றலாக்கும் மாற்றங்கள், இயக்க ஆற்றலை நிலையாற்றலாக்கும் மாற்றங்கள் ஆகியவற்றாலேயே மூலக்கூறுகளின் உலகம் கட்டுப்படுத்தப் படுகிறது. மூலக்கூறுகளைப் பார்த்திராத பெரிய பொருட்களைக் கொண்ட பருவெட்டு உலகத்தில் மட்டுமே ஆற்றல் ''அழிகிறது.''

ஒரு நிகழ்ச்சியின் போது இயந்திர ஆற்றல் மொத்தமாகவோ அல்லது பகுதியாகவோ மறைந்தால், நிகழ்ச்சியில் பங்கேற்ற பொருட்கள் மற்றும் ஊடகங்கள் ஆகியவற்றின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் இதே அளவு அதிகரிக்கிறது. வேறு விதமாகக் குறிப்பிட்டால், இயந்திர ஆற்றல் அழிவு எதுவுமின்றி அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளின் ஆற்றலாக மாற்றமடைகிறது.

ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி, இயற்பியலின் மிகவும் கண்டிப்பான கணக்கெழுதுபவராகச் செயல்படுகிறது. எந்த நிகழ்ச்சியின் போதும், உள்வரும் ஆற்றலும், வெளிச் செல்லும் ஆற்றலும் துல்லியமாக ஒன்றையொன்று சரிக்கட்டுகின்றன. சில பரிசோதனைகளில் இவ்வாறு நிகழவில்லையெனில், முக்கியமானது ஒன்று நம் கவனத்திலிருந்து தப்பியிருக்கிறது என்பதே உள்ளர்த்தமாகும். இத்தகையதொரு சூழ்நிலையில் ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி நமக்கு ஒரு சைகை கொடுக்கிறது. ஆராய்ச்சியாளர் அவரது அளவீடுகளின் துல்லியத்தை அதிகப்படுத்தி, பரிசோதனையைத் திரும்பச் செய்து, ஆற்றலின் இழப்புக்கான காரணத்தைக் காண விழைகிறுர். இயற்பியல் அறிஞர்கள், இவ்விதியின் முழுமையான கண்டிப்பான செல்லுபடியாகுந்தன்மையை அவர்களே பல தருணங்களில் நம்பும்படியாக, இத்திசைகளில் புதுமையான, முக்கியமான பல கண்டுபிடிப்புகளைச் செய்திருக்கின்றனர்.

கலோரி

எர்க், கிலோகிராம்—விசை—மீட்டர் என்னும் ஆற்றலின் இரு அலகுகளை நாம் ஏற்கனவே பார்த்திருக்கிறேம். இதுவே போதுமானதாகத் தோன்றலாம். இருப்பினும், வெப்ப இயற்பாடுகளைப் பற்றிப் படிக்கும் பொழுது, மூன்ருவது அலகு ஒன்றை பயன்படுத்துவது பழக்கமாக இருக்கிறது.

ஆற்றலைக் குறிப்பதற்குப் பயன்படும் அலகுகளின் அட்டவணையில் கலோரியைச் சேர்த்தாலும்கூட, அது பூர்த்தியடைவதில்லை என்பதை நாம் பின்னர் பார்ப்போம்.

தனிப்பட்ட நிகழ்ச்சி ஒவ்வொன்றிலும், அதற்குப் பொருத்தமான ஆற்றலின் அலகு ஒன்றை உபயோகிப்பது தான் வசதியாகவும் தகுந்ததாகவும் இருக்கிறது. சிறிதே சிக்கலான பிணக்காகிய ஒரு வகையிலிருந்து மற்ருெரு

வகையாக்கப்படும் ஆற்றலின் மாற்றத்தைப் பற்றிப் பரிசீலிக்கும் பொழுது, நினைக்க முடியாத அளவுக்கு அலகுகளின் கலவை ஏற்படுகிறது.

கணக்கீடுகளை எளிமைப்படுத்துவதற்காக ஒரு புதிய அலகுமுறை (SI) வேலை, ஆற்றல், வெப்பத்தின் அளவு ஆகியவற்றின் ஒரே அலகாக ''ஜூல்'' ஐத் தந்திருக்கிறது. இருப்பினும்,இது பொது வழக்கில் உபயோகப்படுத்தப்படும் ஒரே அலகுமுறையாக மாறுவதற்குத் தேவைப்படும், பாரம்பரியப் பிடியின் பலம், நீண்ட கால நேரம் ஆகியவற்றைப் பார்க்கையில் மெதுவாக மறைந்து கொண்டிருக்கும் ''கலோரி'' என்ற வெப்ப அலகுடன் நம்மைச் சற்று அதிகமாகப் பழக்கப்படுத்திக் கொள்ளுதல் நமக்கு உதவியாயிருக்கும்.

ஒரு கிராம் தண்ணீரின் வெப்ப நிலையை ஒரு டிகிரி அதிகரிப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலின் அளவு ஒரு ''சிறிய'' கலோரி எனப்படுகிறது.

''சிறிய'' என்ற வார்த்தையை நாம் இங்குக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல வேண்டியிருக்கிறது. ஏனெனில் சில வேளைகளில் இந்த அலகைப் போன்று ஆயிரம் மடங்குகள் பெரியதாயிருக்கும் ''பெரிய'' கலோரி என்ற அலகையும் நாம் உபயோகப்படுத்துகிறோம். (ஒரு பெரிய கலோரி என்னும் அலகு கி.கலோரி என்று குறிக்கப்படுகிறது; இதன் பொருள் கிலோகலோரி என்பதேயாகும்).

ஒரு கலோரிக்கும் வேலையின் இயந்திரவியல் அலகாகிய ஒரு எர்க் அல்லது ஒரு கிலோகிராம்—விசை—மீட்டருக்கும் இடையேயான சம்பந்தம், தண்ணீரை இயந்திரவியல் முறையினால் சூடாக்குவதன் மூலமாகக் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. இத்தகைய பரிசோதனைகள் திரும்பத் திரும்பச் செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. உதாரணமாக, அதிக ஆற்றலுடன் கலக்குவதன் மூலம் தண்ணீரின் வெப்ப நிலையை உயர்த்துவது சாத்தியமாகிறது. சூடேற்றுவதற்குச் செலவிடப்

பட்ட இயந்திரவியல் வேலையை நாம் போதுமான துல்லியத்துடன் கணக்கிடலாம். இத்தகைய அளவைகளிலிருந்தும் கீழ்வரும் சமன்பாடு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

1 கலோரி = 0.427 கி.கி.வி.மீ = 4.18 ஜூ

ஆற்றலும் வேலையும் பொதுவான அலகுகளைக் கொண்டிருக்கிறபடியால் வேலையை கலோரி என்ற அலகுகளில் அளப்பது சாத்தியமாகிறது. ஒரு கிலோகிராம் எடையுள்ள பளுவை ஒரு மீட்டர் உயரம் தூக்குவதற்கு நாம் 2.35 கலோரிகளைச் செலவிட வேண்டியிருக்கிறது. இது வழக்கத்திலிருந்து மாறுபட்டிருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. பளு ஒன்றைத் தூக்குவதை, தண்ணீரைச் சூடாக்குவதுடன் ஒப்பிடுவது உண்மையிலேயே வசதியற்றதாக இருக்கிறது. இதனுல்தான் இயந்திரவியலில் கலோரி என்ற அலகு உபயோகப்படுத்தப்படுவதில்லை.

சிறு வரலாறு

வெப்பத்தின் இயந்திரவியல் பண்பு பற்றிய கருத்து போதுமான அளவுக்குத் தெளிவாக அறியப்பட்ட பின்னரும், தொழில் நுணுக்கவியல், வெப்பம், வேலை முதலியவற்றுக்கிடையேயான இணைமாற்றுத் தத்துவத்தின் (equivalence) முக்கிய கேள்வி நடைமுறையில் எழுதப்பட்ட பின்னரே ஆற்றலின் அழிவின்மை விதிக்கு வடிவம் கொடுக்க முடிந்தது.

வெப்பம், வேலை முதலியவற்றுக்கிடையே அமைந்திருக்கும் அளவு அடிப்படையிலான தொடர்பை உறுதி செய்யும் முதல் பரிசோதனை, மிக்க புகழ் வாய்ந்த இயற்பியல் அறிஞராகிய ரம்போர்டு (1753—1814) என்பவரால் செய்யப்பட்டது. பெரிய துப்பாக்கிகள் தயாரிக்கப்படும் தொழிற்சாலை ஒன்றில் அவர் வேலை பார்த்து வந்தார்.

துப்பாக்கியின் வாய்முகப்புத் துளையிடப்படும் பொழுது வெப்பம் வெளியிடப்பட்டது. வெளிப்படும் இவ்வெப்பத்தை எப்படி மதிப்பிடுவது? வெப்ப அளவின் அலகாக எதை எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்? என்ற கேள்விகள் எழுந்தன. துளையிடுதலின் போது ஆற்றப்பட்ட வேலையை, ஏதாவது ஒரு அளவு தண்ணீரின் வெப்ப நிலையை ஏதோ சில டிகிரிகள் அதிகப்படுத்தும் சூடேற்றுதலுடன் சம்பந்தப்படுத்தலாம் என ரம்போர்டுக்குத் தோன்றியது. இந்த ஆராய்ச்சியில்தான் வெப்பமும் வேலையும் பொதுவான ஒரு அலகைக் கொண்டிருத்தல் வேண்டும் என்ற கருத்தை முதன் முதலில் சரியாக வெளிப்படுத்தியது.

கீழ்வரும் ஒரு முக்கியமான உண்மையை நிலைநாட்டுதல், ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியைக் கண்டுபிடிக்கும் முயற்சியில் அடுத்த படியாக அமைந்தது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வேலையின் மறைவும், இதன் விகித சம அளவிலான வெப்பத்தின் தோற்றமும் சேர்ந்தே நடைபெறுகின்றன. இவ்வுண்மையின் அடிப்படையில் வெப்பம், வேலை முதலியனவற்றுக்குப் பொதுவான ஒரு அலகு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

வெப்பத்தின் இயந்திரவியல் இணைமாற்றம் என்றழைக்கப்படுவதன் மூல வரையறை சாடி கார்னேட் என்னும் பிரெஞ்சு இயற்பியல் அறிஞரால் கொடுக்கப்பட்டது. தன்னிகரற்ற இம்மனிதர் 1822ம் ஆண்டில், அவரது 36 வது வயதில் காலமானார். அவர் விட்டுச் சென்ற கையெழுத்துப் பிரதி ஒன்று இதற்கு 50 வருடங்களுக்குப் பின்னரே பிரசுரிக்கப்பட்டது. கார்னேட்டின் கண்டுபிடிப்பு வெளியில் அறியப்படாமல் இருந்ததனால், அது அறிவியலின் வளர்ச்சிக்குத் தூண்டுகோலாக அமையவில்லை. ஒரு கன மீட்டர் (m^3) தண்ணீரை ஒரு மீட்டர் உயரம் தூக்குவதற்கு, ஒரு கிலோ கிராம் தண்ணீரை 2.7 டிகிரிகள் (சரியான எண் 2.3 டிகிரி

24*

கள் ஆகும்) சூடேற்றுவதற்காகத் தேவையான அதே அளவு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது என கார்ஞேட் அவருடைய ஆராய்ச்சியில் கணக்கிட்டார்.

ஹெயில்ப்ரான் டாக்டர் ஜூலியுஸ் ராபர்ட் வோன் மேயர் என்பவர் அவருடைய முதல் ஆராய்ச்சி முடிவுகளை 1842ல் பிரசுரித்தார். நமக்குப் பழக்கமான இயற்பியல் இயற்பாடுகளை மேயர் முற்றிலும் வித்தியாசமான பெயர்களால் அழைத்தாலும், அவருடைய ஆராய்ச்சி முடிவுகளைக் கவனமாக வாசிக்கும் பொழுது, ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி பற்றிய முக்கிய பண்புகள் இதில் தரப்பட்டிருக்கின்றன என்ற முடிவுக்கு நாம் வருகிறோம். ஒரு பொருளின் உள்ளார்ந்த (வெப்ப) ஆற்றல், ஈர்ப்பு நிலையாற்றல், இயக்க ஆற்றல் முதலியவற்றுக்கிடையேயான வேறுபாட்டை மேயர் எடுத்துரைத்தார். முற்றிலும் கொள்கை ரீதியான பரிசீலனைகளிலிருந்தே, வேறுபட்ட நிலைமாற்றங்களின் போதும், ஆற்றல் அழியாமலிருக்க வேண்டியதன் அவசியத்தை உய்த்துரைக்க முயற்சி செய்தார். இவ்வுறுதிப்பாட்டை சரியா எனப் பரிசோதனையின் மூலம் ஆராய்ந்து பார்க்க வேண்டுமானுல், இவ்வாற்றல்களை அளப்பதற்குப் பொதுவான அலகு ஒன்றை நாம் கொண்டிருப்பது அவசியமாகிறது. ஒரு கிலோகிராம் தண்ணீரை ஒரு டிகிரி சூடேற்றுதல், ஒரு கிலோகிராமை 365 மீ உயரம் தூக்குவதற்கு இணைமாற்ருக இருக்கிறது என மேயர் கணக்கிட்டார்.

இதற்கு மூன்று வருடங்களுக்குப் பின்னர் பிரசுரிக்கப்பட்ட அவருடைய இரண்டாவது ஆராய்ச்சி முடிவில் ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியின் நிலை மெய்மையை மேயர் குறிப்பிட்டிருந்தார். வேதியியல், உயிரியல், அண்ட வெளியின் இயற்பாடுகள் முதலியவை சார்ந்த கேள்விகளுக்கு இவ்விதியை உபயோகப்படுத்தும் சாத்தியக் கூற்றை அவர் குறிப்பிட்டிருந்தார். ஏற்கனவே அறியப்பட்டிருக்கும் பல்

வேறு ஆற்றல் வடிவங்களுடன், மேயர் காந்த ஆற்றல், மின்னுற்றல், வேதியியல் ஆற்றல் முதலியவற்றையும் சேர்த்தார்.

ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியைக் கண்டுபிடித்ததற்கான அதிகப்படியான பாராட்டுகள், மேயரிலிருந்து தனித்து ஆராய்ச்சி நடத்திய சிறந்த ஆங்கிலேய இயற்பியல் அறிஞராகிய ஜேம்ஸ் ப்ரீஸ்கோட் ஜுல் (இங்கிலாந்தில் சால் போர்டு என்னும் இடத்தைச் சேர்ந்த சாராயம் வடிப்பவர்) என்பவரைச் சேர்கின்றன.

தெளிவற்ற தத்துவத்தின்பால் சிறிது அக்கறை கொண்டிருப்பது மேயர் கண்ணோட்டத்தின் தனி அம்சமாக இருக்கிறது; ஆனால் பரிசீலனைக்குட்பட்டிருக்கும் இயற்பாடுகளைப் பரிசோதனைகளின் மூலம் கண்டிப்புடன் அணுகும் முறை ஜுல்ஸின் அடிப்படையான தனித்திறமையாகும். ஜுல் இயற்கையைப் பற்றி ஒரு கேள்வி எழுப்பி, மிகக் கடுமையான முயற்சியினால் அமைக்கப்பட்ட பிரத்யேகப் பரிசோதனைகளின் மூலம் இக்கேள்வியின் பதிலைப் பெற்றார். ஜுல் செய்த பரிசோதனைகள் எல்லாவற்றிலும் வெப்ப இயல், வேதியியல், மின்னியல், இயந்திரவியல் முதலியவை சார்ந்த இயற்பாடுகள் அனைத்திலும் ஆற்றல் பாதுகாக்கப் படுகிறது என்பதை செய்முறைகள் மூலம் மெய்ப்பித்துக் காட்டுவதற்காக இவ்வியற்பாடுகளின் செயற்பாடுகளுக்குப் பொதுவான ஒரு அளவை அலகைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும் என்ற ஒரே எண்ணத்திலேயே அவர் உந்தப்பட்டார் என்பதில் எவ்வித ஐயமும் இல்லை. ஜுல் அவருடைய கருத்தைக் கீழ்வருமாறு வடிவமைவு செய்தார். ''இயற்கையில் வேலையை ஆற்றும் விசையின் அழிவு, இதனை ஒத்த செயல் ஒன்று செய்யப்படாமல் ஏற்படுவதில்லை.''

1843 ம் ஆண்டு ஜனவரி மாதம் **24**ம் நாளன்று ஜுல் அவருடைய ஆராய்ச்சியின் முதல் முடிவை அறிவித்தார்.

இதே ஆண்டு ஆகஸ்டு மாதம் 21ம் நாளில் வெப்பம், வேலை முதலியவற்றுக்குப் பொதுவான ஒரு அளவை அலகு நிர்மாணிக்கப்பட்டது பற்றிய அவரது முடிவுகளை வெளியிட்டார். ஒரு கிலோகிராம் தண்ணீரை ஒரு டிகிரி சூடேற்றுவது, ஒரு கிலோகிராமை 460 மீ உயரம் தூக்குவதற்கு இணைமாற்றாயிருக்கிறது.

இதைத் தொடர்ந்த ஆண்டுகளில் ஜுலும், இன்னும் பல ஆராய்ச்சியாளர்களும் வெப்ப இணைமாற்றத்துக்கு மிகத் துல்லியமான எண் ஒன்றைக் கண்டுபிடிப்பதற்காக வெகுவாக முயற்சி செய்தனர். இணைமாற்றத்தின் முழு நிலை மெய்மையை நிரூபிக்கவும் முயற்சி செய்தனர். 1840 க்கும் 1850 க்கும் இடைப்பட்ட பத்து ஆண்டுகளின் பிற்பகுதியில்தான், வேலை எவ்வாறு வெப்பமாக மாற்றப்படுகிறது என்பதைப் பொறுத்திராமல், உண்டாகிற வெப்ப அளவு எப்பொழுதும் பயன்பட்ட வேலையின் அளவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்பது தெளிவாயிற்று. ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியின் பரிசோதனைரீதியான அடிப்படையை ஜுல் அமைத்திட்டார் என்பது உண்மையாயிருப்பினும் அவர் அவருடைய ஆராய்ச்சி முடிவுகளில் இவ்விதியின் தெளிவான வடிவமைப்பைக் கொடுக்கவில்லை.

இதற்கான பெருமை செருமானிய இயற்பியல் அறிஞர் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸைச் சேரும் 1847ம் ஆண்டு சூலைத் திங்கள் 24ம் நாளன்று நடைபெற்ற பெர்லின் இயற்பியல் கழகத்தின் கூட்டம் ஒன்றில் ஆற்றலின் அழிவின்மைத் தத்துவம் பற்றி ஹெர்மான் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒரு உரை ஆற்றினார். ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியின் இயந்திரவியல் அடிப்படை இவ்வுரையில்தான் முதன் முதலாக மிகத் தெளிவாக எடுத்துரைக்கப்பட்டது. உலகம் அணுக்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது. அணுக்கள் நிலையாற்றலையும், இயக்க ஆற்றலையும் கொண்டிருக்கின்றன. ஒரு பொருள் அல்லது

ஒரு தொகுதி வெளிப்புற இயக்க விளைவுகளுக்கு உட்படுத்தப்படாமலிருந்தால், அப்பொருள் அல்லது அத்தொகுதி ஆக்கப்பட்டிருக்கும் துகள்களின் நிலையாற்றல்கள், இயக்க ஆற்றல்கள் முதலியவற்றின் கூட்டுத்தொகை மாறுதலடைய முடியாது. மேலே பல பக்கங்களில் விவரிக்கப்பட்டிருக்கும் ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி, முதன் முதலாக ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸால் வடிவமைக்கப்பட்டது.

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் நீண்ட உரை பொதுவான கருத்துக்களின் வாசகங்களை மட்டுமே கொண்டிருக்கவில்லை. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ், எல்லா இயற்பியல் இயற்பாடுகளையும் (வெப்ப இயல், வேதியியல், மின் காந்தவியல்) ஆழ்ந்து பரிசோதித்தார்; இணைமாற்றுத் தத்துவத்தின் நிலை மெய்மையைச் செய்முறைகள் மூலம் மெய்ப்பித்துக் காட்டினார்; ஆற்றல்களைக் கணக்கிடும் வழி முறைகள் சிலவற்றைக் காட்டினார்.

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் ஆராய்ச்சிக்குப் பின்னர், ஆற்றலின் அழிவின்மையின் தத்துவம் சரியானதா என்று சோதித்துப் பார்த்து, அதை உபயோகப்படுத்துவது முதலியவையே ஏனைய இயற்பியல் அறிஞர்கள் செய்ய வேண்டியனவாயிருந்தன. 1850 லிருந்து 1860 வரைக்கும் இடைப்பட்ட பத்தாண்டு கால இறுதியில் ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியானது ஏற்கனவே இயற்கை அறிவியலின் ஒரு அடிப்படை விதியாக உலகம் முழுவதும் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டு விட்டது என்ற உண்மையிலிருந்தும் இவ்வாராய்ச்சிகளின் வெற்றியை நாம் மதிப்பிடலாம்.

ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியில் ஐயம் உண்டாக்கும் இயற்பாடுகள் 20 ம் நூற்றுண்டில் காட்சிப் பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. ஆயினும் இத்தோற்ற முரண்பாடுகளுக்கான விளக்கங்கள் பின்னர் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இது வரையிலும் ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி சோதனைகளைப் பெருமையுடன் சந்தித்திருக்கிறது.



ஹெர்மான் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் *(1821—1894)*: இவர் ஒரு புகழ் மிக்க செருமானிய அறிவியல் அறிஞராவார். இவர், இயற்பியல், கணிதவியல், உடற்கூறியல் ஆகிய துறைகளில் ஆராய்ச்சி செய்து வெற்றி கண்டவர். ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியின் உலகப் பொதுத் தன்மையை எடுத்துக் கூறி, இவ் விதிக்கு முதன் முதலாக கணிதவியல் சார்ந்த விளக்கம் ஒன்றை அளித்தவர் இவரே *(1847)*. வெப்பவிசையியக்க வியலில் (thermodynamics) பல முக்கிய முடிவுகளை இவர்

பத்து

பொருட்களின் இயல்பமைப்பு

மூலக்கூறுகள்

மூலக்கூறுகள் அணுக்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வேதியியல் விசைகள் என்றழைக்கப்படும் விசைகளால் அணுக்கள் மூலக்கூறுகளில் கட்டுண்டு இருக்கின்றன.

இரண்டு, மூன்று, நான்கு அணுக்களைக் கொண்ட மூலக்கூறுகள் இருக்கின்றன. மிகப் பெரிய மூலக்கூறுகளாகிய புரோட்டீன் (protein) மூலக்கூறுகள் பத்தாயிரக் கணக்கிலான அல்லது நூருயிரக்கணக்கான அணுக்களைக் கொண்டிருக்கின்றன.

மூலக்கூறுகளின் இனங்கள் மிக அதிக வேறுபாடுடையனவாய் இருக்கின்றன. இன்று வரை பலதரப்பட்ட மூலக்

கண்டறிந்தார். முதன் முதலில் வேதியியல் செயல் முறைகளை பற்றிய ஆய்வுகளில் வெப்பவிசை இயக்கவியலைப் புகுத்தியவரும் இவரே! திரவங்களின் சுழிப்பு இயக்கம் பற்றிய இவரது ஆராய்ச்சியின் மூலமாக நீரழுத்த இயக்கவியல், காற்றழுத்த இயக்கவியல் முதலிய பிரிவுகளில் மிக முக்கிய ஆராய்ச்சிகள் பலவற்றை இவர் செய்திருக்கிருர். இசையின் இயற்பியல் கொள்கை ஒன்றை இவர் அறிவித்தார். இவருடைய இயற்பியல் ஆராய்ச்சியில், ஆற்றல் வாய்ந்த மூலப்படிவான கணிதவியல் நுணுக்கங்களைப் பயன்படுத்தினர்.

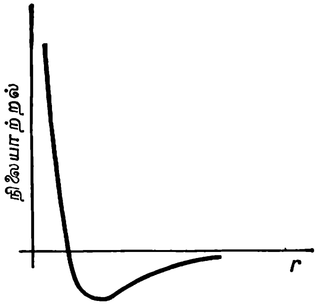
கூறுகளினுல் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் மில்லியன் கணக்கிலான பொருட்கள், ஏற்கனவே இயற்கைப் பருப்பொருட்களிலிருந்து வேதியியல் அறிஞர்களால் பிரித்தெடுக்கப்பட்டும் அவர்களுடைய ஆய்வகங்களில் உண்டாக்கப்பட்டும் வருகின்றன.

மூலக்கூறுகளின் பண்புகள், ஒவ்வொரு வகையைச் சேர்ந்த எத்தனை அணுக்கள் இம்மூலக்கூறுகளின் அமைப்பில் பங்கேற்றிருக்கின்றன என்பதால் மட்டுமின்றி அவ்வணுக்கள் கட்டுண்டு இருக்கும் முறை, அணுவமைதி (configuration) ஆகியவற்ருலும் தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. மூலக்கூறு என்பது செங்கற்களின் குவியல் அல்ல; ஆனுல் ஒவ்வொரு செங்கல்லும் அதற்கு உரிய தனி இடத்தைப் பெற்று, முற்றிலும் தீர்மானிக்கப்பட்ட அண்டைச் செங்கற்களையும் கொண்டிருக்கும், சிக்கலான கட்டிடக்கலையின் அமைப்பாகும். ஒரு மூலக்கூற்றை அமைக்கும் அணுக்களின் இயல்பமைப்பு, அதிகமான அளவு அல்லது குறைந்த அளவு விறைப்புத் தன்மையைக் கொண்டதாக இருக்கிறது. எப்படியாயினும் அணுக்களில் ஒவ்வொன்றும் அதன் சமநிலையை மையமாகக் கொண்டு அலைவுறுகின்றன. இவற்றுள் சிலவற்றில், வெப்ப இயக்கச் செயல் முறையின் போது, கட்டற்ற ஒரு மூலக்கூறு முற்றிலும் வித்தியாசமான அதிசயிக்கத் தக்க அணு அமைதிகளைக் கொண்டிருக்கும் படியாக, மூலக்கூற்றின் சில பகுதிகள் அதன் ஏனைய பகுதிகளைச் சுற்றி இயங்கவும் முடியும்.

அணுக்களின் செயலெதிர்ச் செயல்களைச் சற்று அதிக விளக்கத்துடன் நாம் பகுப்பாய்வோம். ஈரணு மூலக்கூறு ஒன்றின் நிலையாற்றலின் வரைபடம், படம் 86 ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது ஒரு பண்பியல் வடிவத்தைக் கொண்டிருக்கிறது; முதலில் இது கீழ் நோக்கி இறங்கி, பின்னர் மேல் நோக்கித் திரும்பி, ஒரு குழி போன்ற அமைப்பை

ஏற்படுத்தி, பின்னர், அணுக்களுக்கிடையே அமைந்திருக்கும் தூரம் குறிப்பிடப்பட்டிருக்கும் கிடை அச்சை நோக்கி மிகவும் மெதுவாக ஏறுகிறது.

சிறுமமான நிலையாற்றலைக் கொண்டுள்ள நிலையமைதி உறுதியானதாய் இருக்கும் என்பது நாமறிந்ததே. ஒரு அணு, மூலக்கூறு ஒன்றின் பகுதியாக அமையும் பொழுது, அது அதன் சமநிலையை மையமாகக் கொண்டு சிறிய வெப்ப அலைவுகளை ஏற்படுத்திக் கொண்டு மின்னழுத்த (potential) குழி ஒன்றினுள் ''உட்கார்ந்து'' இருக்கிறது.



படம் 86

நிலைக்குத்து அச்சிலிருந்து குழியின் அடி வரைக்குமான தூரம் சமநிலைத் தூரம் என அழைக்கப்படுகிறது. வெப்ப இயக்கம் நிறுத்தப்பட்டிருந்தாலும் அணுக்கள் இத்தூரத்தில்தான் அமைந்திருக்கும்.

அணுக்களுக்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயல்களின் எல்லா விவரங்களைப் பற்றியும் நிலையாற்றலின் வரைபடம் நமக்குக் கூறுகிறது. ஏதாவது ஒரு தூரத்தில் துகள்கள் ஒன்றையொன்று இழுக்கின்றனவா? அல்லது எதிர்த்துத் தள்ளுகின்றனவா? துகள்கள், ஒன்றிலிருந்து ஒன்று பிரிந்து செல்லும் பொழுது அல்லது ஒன்றையொன்று நெருங்கும் பொழுது செயலெதிர்ச் செயற்பாட்டின் அளவு கூடுகிறதா அல்லது குறைகிறதா? ஆகிய இவ்விவரங்கள் அனைத்தையும் நிலையாற்றல் வரைபடத்தின் பகுப்பாய்விலிருந்து நாம் அறிய முடிகிறது. குழியின் அடிப்பாகத்துக்கு இடப்பக்கம் அமைந்திருக்கும் புள்ளிகள் எதிர்த்துத் தள்ளுதலைக் குறிக்கிறது. இதற்கு மாறாகக் குழியின் அடிப்பாகத்துக்கு வலப்பக்கம்

அமைந்திருக்கும் வரைபடத்தின் பகுதிகள் கவர்ச்சியைக் குறிக்கின்றன. வரைபடத்தின் கூரிய ஏற்றம் முக்கியமான செய்தியைத் தருகிறது. வரைபடத்தின் கூரிய ஏற்றம் அதிகமானல் விசையும் அதிகமானதாயிருக்கிறது.

அணுக்கள் ஒன்றிலிருந்து மற்ரென்று வெகு தூரத்திலிருக்கும் பொழுது அவை ஒன்றையொன்று கவர்கின்றன. அவற்றிற்கிடையேயான தூரத்தின் அதிகரிப்புடன் இவ்விசை மிக வேகமாகக் குறைகிறது. அவை ஒன்றையொன்று நெருங்கும் பொழுது, கவர்ச்சி விசை அதிகரிக்கிறது. அணுக்கள் ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகில் வரும் பொழுது, இவ்விசை அதன் பெரும் மதிப்பை அடைகிறது. அவை இன்னும் நெருங்கி வரும் பொழுது, கவர்ச்சி பலமிழந்து, முடிவில் சமநிலைத் தூரத்தில் செயலெதிர்ச் செயலின் விசை மறைகிறது. அணுக்கள் சமநிலைத் தூரத்தைக் காட்டிலும் நெருங்கி வரும் பொழுது, எதிர்த்துத் தள்ளும் விசை தோன்றுகிறது. நடைமுறையில் அணுக்களுக்கிடையேயான தூரத்தில் மேலும் குறைவு ஏற்படுவதற்கு சாத்தியக் கூறு இல்லாதபடிக்கு இவ்விசை வேகமாக அதிகரிக்கிறது.

பல்வகைப்பட்ட அணுக்களின் சமநிலைத் தூரங்கள் (சுருக்கமாயிருப்பதற்காக இதைத் தூரம் என்றே நாம் கீழே குறிப்பிடுவோம்) வித்தியாசமானவைகளாயிருக்கின்றன.

பல்வகைப்பட்ட அணுக்களின் சதைகளைச் சேர்ந்த குழியின் அடிப்பாகத்துக்கும் நிலைக்குத்துக் கோட்டுக்கும் இடைப்பட்ட தூரங்கள் மட்டுமின்றி, அக்குழியின் ஆழமும் வித்தியாசமானவைகளாயிருக்கின்றன.

ஒரு குழியின் ஆழம் கீழ்வரும் எளிய பொருளைக் கொண்டிருக்கிறது. குழியிலிருந்து வெளியே வருவதற்கு, அதன் ஆழத்துக்குச் சமமான ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. ஆகவே ஒரு குழியின் ஆழம், துகள்களின் ''இணைப்பாற்றல்'' (binding energy) என அழைக்கப்படுகிறது.

ஒரு மூலக்கூற்றில் அமைந்திருக்கும் அணுக்களுக்கிடையேயான தூரம், அவற்றின் அளவைகளுக்கெனத் தகுந்த அலகுகளைத் தெரிவு செய்ய வேண்டிய அவசியம் ஏற்படும் அளவுக்கு மிகச் சிறியதாயிருக்கின்றன; இல்லையெனில் அவற்றின் மதிப்புகள் உதாரணமாக, கீழ்வரும் வடிவத்தில் குறிக்கப்பட வேண்டியதிருக்கும்: 0.000000012 செ.மீ இது ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறு ஒன்றின் மதிப்பாகும்.

அணு உலகத்தை விவரிப்பதற்குப் பிரத்யேக வசதி கொண்ட அலகுகள் ''ஆன்ஸ்ட்ராம்குகள்'' (உண்மையில் ஸ்வீடன் நாட்டைச் சேர்ந்த அறிவியல் அறிஞரைக் கௌரவிப்பதற்காக, இந்த அலகு அவருடைய பெயர் சூட்டப்பட்டு, ஆன்ஸ்ட்ராம் என அழைக்கப்படுகிறது; இதை ஞாபகத்தில் கொள்வதற்காக Å என்ற எழுத்துக்கு மேல் சிறு வட்டம் குறிக்கப்படுகிறது):

$$1\,\text{Å} = 10^{-8}\ \text{செ.மீ}$$

அதாவது ஒரு சென்டிமீட்டரில் நூறு மில்லியனில் ஒரு பகுதியாகும்.

ஒரு மூலக்கூற்றில் அமைந்திருக்கும் அணுக்களுக்கிடையேயான தூரங்கள் 1 முதல் 4 Å வரையான வரம்புகளுக்குள்ளேயே அமைந்திருக்கின்றன. மேலே குறிப்பிடப்பட்டிருக்கும் ஆக்ஸிஜனுக்கான சமநிலைத் தூரம் 1.2 Å க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

நாம் பார்ப்பது போன்று அணுவிடைத் தூரங்கள் மிகச் சிறியனவாயிருக்கின்றன. புவி நடுக்கோட்டில் பூமியைச் சுற்றி ஒரு கயிற்றைக் கட்டினால், அக்கயிற்றின் நீளம் நம் உள்ளங்கையின் அலகத்தைவிட எத்தனை மடங்கு அதிகமாயிருக்கிறதோ அத்தனை மடங்குகள் நம் உள்ளங்கையின் அகலம் ஒரு மூலக்கூற்றின் அணுக்களுக்கிடையேயான தூரத்தைக் காட்டிலும் பெரியதாயிருக்கிறது.

இணைப்பாற்றலை அளப்பதற்குச் சாதாரண கலோரிகள் அலகுகளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆனால் ஒரு கிராம் மூலக்கூற்றில், அதாவது மூலக்கூற்றின் சார்பு எடைக்குச் சமமான கிராம் எடையுள்ள மூலக்கூறுகளின் தொகுதியில் தானே தவிர, ஒரு தனி மூலக்கூற்றில் அல்ல; ஏனெனில், ஒரு தனி மூலக்கூற்றில் இதன் மதிப்பு ஒதுக்கிவிடக் கூடிய அளவுக்கு மிகச் சிறியதாயிருக்கிறது.

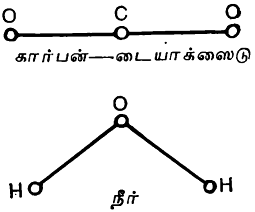
ஒரு கிராம் மூலக்கூற்றின் மொத்த இணைப்பாற்றல் $N_A = 6.023 \times 10^{23}$ என்னும் அவாகாட்ரோ எண்ணால் வகுக்கப்படும் பொழுது ஒரு தனி மூலக்கூற்றின் இணைப்பாற்றலைக் கொடுக்கிறது என்பது தெரியவருகிறது.

அணுவிடைத் தூரங்களைப் போலவே, ஒரு மூலக்கூற்றில், அணுக்களின் இணைப்பாற்றல்களும் குறுகிய வரம்புக்குள் வேறுபடுகின்றன.

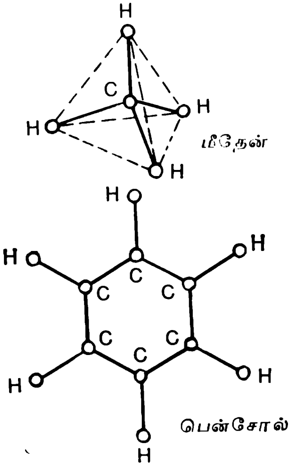
அதே ஆக்ஸிஜனுக்கு இணைப்பாற்றல் ஒரு கிராம் மூலக்கூற்றுக்கு 116000 கலோரிகள் ஆகும்; ஹைடிரஜனுக்கு 103000 கலோரிகள் ஆகும்.

ஒரு மூலக்கூற்றில் அடங்கியிருக்கும் அணுக்கள் ஒன்றுக்கொன்று சார்பாக, முற்றிலும் திட்டமான முறையில் ஒழுங்குபடுத்தப்பட்டுள்ளன. சிக்கலான நிகழ்ச்சிகளில் அவை சிறிது தெளிவற்ற இயல்பு அமைப்புகளை உண்டாக்குகின்றன என்பதை நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம்.

பல எளிய உதாரணங்களை நாம் இங்கு தருகிறோம். ஒரு CO_2 (கார்பன்—டை—ஆக்ஸைடு) மூலக்கூற்றில், கார்பன் அணுவை மையத்தில் கொண்டு, மூன்று அணுக்களும் ஒரே கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கின்றன. ஒரு H_2O (தண்ணீர்) மூலக்கூறு, ஆக்ஸிஜன் அணுவைக் கோணத்தின் (இது 105° க்குச் சமமாயிருக்கிறது) உச்சியில் கொண்டிருக்கும் ஒரு கோண அமைப்பைக் கொண்டிருக்கிறது.



படம் 87



படம் 88

ஒரு NH_3 (அம்மோனியா) மூலக்கூற்றில் நைட்ரஜன் அணு, மூன்று பக்கப் பட்டைக் கூம்புருவின் (pyramid) உச்சியில் அமைந்திருக்கிறது. ஒரு CH_4 (மீதேன்) மூலக்கூற்றில் நாற்பக்க பிளம்புரு (tetrahedron) என அழைக்கப்படும் நான்கு சமபக்கங்களையுடைய வடிவத்தின் மத்தியில் கார்பன் அணு அமையப்பெற்றிருக்கிறது.

C_6H_6 (பென்சீன்)ல் கார்பன் அணுக்கள் ஒழுங்கான ஒரு அறுகோணக் கட்டத்தை அமைக்கின்றன. ஹைடிரஜன் அணுக்களுடன் கார்பன் அணுக்கள் கொண்டிருக்கும் பிணைப்புக்கள் (bonds) அறுகோணக் கட்டத்தின் எல்லா உச்சிகளிலிருந்தும் வெளிப்படுகின்றன. எல்லா அணுக்களும் ஒரே தளத்தில் அமைந்திருக்கின்றன.

இம்மூலக்கூறுகளில் அமைந்திருக்கும் அணுக்களின் மையங்களின் ஒழுங்கீட்டு முறைகள் படம் 87, 88 முதலியவற்றில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. கோடுகள் பிணைப்புகளைக் குறிக்கின்றன.

ஒரு வேதியியல் மாற்றம் (chemical reaction) நடைபெற்றிருக்கிறது; இது நடைபெறுவதற்கு முன்னால் ஒரு

வகையான மூலக்கூறுகள் இருந்தன. இதற்குப் பின்னர், வேறு வகையான மூலக்கூறுகள் உண்டாக்கப்பட்டன.

சில பிணைப்புக்கள் துண்டிக்கப்பட்டிருக்கின்றன; வேறு சில புதிதாக ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. படம் 86ஐ நினைவுபடுத்திப் பார்க்கவும். அணுக்களுக்கிடையேயான பிணைப்புக்களைத் துண்டிக்க வேண்டுமானால் ஒரு பந்தைக் குழியின் உள்ளிருந்து வெளியே கொண்டு வரும் பொழுது செய்யப்படுவது போன்று வேலை செய்ய வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. இதற்கு மாறாக, புது பிணைப்புக்கள் ஏற்படும் பொழுது ஆற்றல் வெளியிடப்படுகிறது என்பதால் பந்து குழியினுள்ளே விழும்.

பிணைப்புக்களை உண்டாக்குதல், துண்டித்தல் ஆகியவை சம்பந்தப்பட்ட வேலைகளில் எது பெரிது? இவ்விருவகையான வினைகளும் இயற்கையில் நிகழ்கின்றன.

அதிகப்படியான ஆற்றல் வெப்ப விளைவு அல்லது மிகச் சுருக்கமாக நிலைமாற்ற (வினை) வெப்பம் என அழைக்கப்படுகிறது. வினைவெப்ப விளைவுகள் (thermal effect) பொதுவாக, ஒரு மோலுக்கு பத்தாயிரக்கணக்கிலான கலோரிகளைக் கொண்ட கணியங்களாகும். ஒரு வேதியல் மாற்றத்துக்கான வாய்ப்பாட்டுடன், வினைவெப்ப விளைவு எப்பொழுதும் ஒரு கூட்டுத்தொகையாகச் சேர்த்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

உதாரணமாக, கிராபைட் என்னும் அமைப்பில் இருக்கும் கார்பன் எரியும் வேதியியல் மாற்றம், அதாவது கார்பன் ஆக்ஸிஜனுடன் சேர்க்கையுறுவது கீழ்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

$$C + O_2 = CO_2 + 94\,250 \text{ கலோரி}$$

C ஆனது O_2 உடன் சேரும் பொழுது 94250 கலோரிகள் ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது என்பதே இதன் பொருளாகும்.

கிராபைட் அமைப்பில் இருக்கும் 1 மோல் கார்பன், 1 மோல் ஆக்ஸிஜன் முதலியவற்றின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகை, 1 மோல் கார்பன்—டை—ஆக்ஸைடின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலுடன் 94250 கலோரிகளைக் கூட்டியதற்குச் சமமாயிருக்கிறது.

இவ்வாறு, இத்தகைய வாய்ப்பாடுகள், உள்ளார்ந்த ஆற்றல்களின் மதிப்புக்களின் வாயிலாக எழுதப்பட்ட குறிக்கணக்கியல் சமன்பாடுகளின் பொருளைத் தெளிவாகக் கொண்டிருக்கின்றன.

ஏதேனும் ஒரு காரணத்திஞல் வேதியியல் மாற்ற வெப்ப விளைவுகளை அளப்பதற்கு நேரடி முறைகள் ஏற்றதாக இயலாத பொழுது, இச்சமன்பாடுகளின் உதவியால் நாம் அவற்றின் மதிப்புகளைக் கணிக்க முடிகிறது. இங்கு உதாரணத்தைப் பார்ப்போம். கார்பன் (கிராபைட்) ஹைடிரஜனுடன் சேர்ந்தால் அசிட்டிலின் என்னும் வாயு உண்டாக்கப்படுகிறது.

$$2C + H_2 = C_2H_2$$

இவ்வேதியல் மாற்றம் இம்முறையில் நிகழ்வதில்லை. ஆயினும் இதன் வெப்ப விளைவைக் கண்டுபிடிப்பது சாத்தியமாகிறது. நாம் அறிந்திருக்கும் மூன்று சமன்பாடுகளை இங்கு எழுதுகிருேம். கார்பனின் ஆக்ஸிஜன் ஏற்றம் (oxidation):

$$2C + 2CO_2 = 2CO_2 + 188\,000 \text{ கலோரிகள்}$$

ஹைடிரஜனின் ஆக்ஸிஜன் ஏற்றம்:

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O + 68\,000 \text{ கலோரிகள்.}$$

அசிட்டிலினின் ஆக்ஸிஜன் ஏற்றம்:

$$C_2H_2 + \frac{5}{2}O_2 = 2CO_2 + H_2O + 312\,000 \text{ கலோரிகள்}$$

இச்சமன்பாடுகள் அனைத்தும் இணைப்பாற்றல்களுக்கான சமன்பாடுகளாகக் கருதப்படலாம். இப்படியானால், குறிக் கணக்கியல் சமன்பாடுகளைப் போன்றே இவைகளையும் நாம் கையாளலாம். மூன்றாவதிலிருந்து முதலிரண்டு சமன்பாடு களைக் கழித்தால்,

$$2\,C + H_2 = C_2H_2 - 56\,000 \text{ கலோரிகள்.}$$

என்பதைப் பெறுகிறோம். ஆகவே நாம் அக்கறை கொண்ட இவ்வேதியல் மாற்றம், 1 கிராம் மூலக்கூற்றுக்கு 56,000 கலோரிகளை உட்கொள்வதினாலேயே ஏற்படுகிறது.

மூலக்கூறுகளின் செயலெதிர்ச் செயல்

மூலக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று கவர்கின்றன என்ற உண்மையின் மேல் எந்தச் சந்தேகமும் இருக்க முடியாது. அவை இவ்வாறு செய்வதை ஒரு நொடிப் பொழுது நிறுத்தி விட்டால் எல்லாத் திரவங்களும், திடப்பொருள்களும் மூலக் கூறுகளாகப் பாகுபட்டு விடும்.

மூலக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத் தள்ளுகின் றன என்பதைப் பற்றியும் ஐயுற முடியாது. ஏனெனில், இவ் வாறு இல்லாவிட்டால், திரவங்களும், திடப்பொருள்களும் மிக எளிதில் சுருங்கிவிடும்.

மேலே விவரிக்கப்பட்ட அணுக்களுக்கிடைப்பட்ட சமநி லைத் தூரத்தையும், திண்மமாக்கப்பட்ட ஆக்ஸிஜனில் மிக அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் இரு மூலக்கூறுகளில் அடங் கியிருக்கும் அணுக்களின் சமநிலைகளுக்கிடையேயான சமநி லைத் தூரத்தையும் நாம் இங்கு ஒப்பிடுவோம். வித்தியாசம் மிகவும் குறிக்கத் தக்கதாய் இருக்கிறது: ஒரு மூலக்கூற்றை அமைக்கும் ஆக்ஸிஜன் அணுக்கள் 1.2 Å தூர இடைவெளி யில் அமைந்திருக்கின்றன. வேறுபட்ட மூலக்கூறுகளின் ஆக்

ஸிஜன் அணுக்கள் 2.9 Å தூர இடைவெளியைக் கொண்டிருக்கின்றன.

ஏனைய அணுக்களுக்கும் இதனை ஒத்த முடிவுகளே கிடைத்திருக்கின்றன. ஒரே மூலக்கூற்றில் அடங்கியிருக்கும் அணுக்களைக் காட்டிலும், வெவ்வேறு மூலக்கூறுகளில் அடங்கியிருக்கும் அணுக்கள். ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று அதிக தூரத்தில் அமைந்திருக்கின்றன. ஆகவேதான் ஒரு மூலக்கூற்றிலிருந்து அணுக்களைப் பிரித்தெடுப்பதைக் காட்டிலும், மூலக்கூறுகளை ஒன்றிலிருந்து ஒன்றைப் பிரித்தெடுப்பது மிகவும் சுலபமாய் இருக்கிறது. மேலும், ஆற்றலின் வித்தியாசம் தூரத்தின் வித்தியாசத்தைக் காட்டிலும் மிகவும் அதிகமானதாய் இருக்கிறது. ஒரு மூலக்கூற்றை அமைத்திருக்கும் இரு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுக்கிடையே அமைத்திருக்கும் இணைப்புகளைத் துண்டிப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றல், கிட்டத்தட்ட 100 கி.கலோரி/மோல் ஆகும். இதே நேரத்தில், ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளை வெவ்வேருக இழுத்துப் பிரிப்பதற்கு 2 கி.கலோரி/மோல் க்கும் குறைவான ஆற்றலே தேவைப்படுகிறது.

எனவே, மூலக்கூறுகளின் நிலையாற்றலின் வரைபடத்தில் ''குழி'', நிலைக்குத்துக் கோட்டிலிருந்து அதிக தூரத்தில் அமைந்திருக்கிறது. மேலும் குழி மிகவும் ஆழம் குறைந்ததாயும் இருக்கிறது.

ஆயினும், ஒரு மூலக்கூற்றை அமைத்திருக்கும் அணுக்களின் செயலெதிர்ச் செயலுக்கும் இடையேயான வேறுபாடு இத்தோடு நிறைவு பெறுவதில்லை.

அணுக்கள், முழுவதுமாகக் குறிப்பிட்ட ஏனைய அணுக்களின் எண்ணிக்கையுடன்தான், ஒரு மூலக்கூற்றில் பிணைப்புண்டிருக்கின்றன என்பதை வேதியியல் அறிஞர்கள் நிரூபித்திருக்கிருர்கள். இரு ஹைடிரஜன் அணுக்கள் சேர்ந்து ஒரு மூலக்கூற்றை அமைத்திருந்தால், இத்தொகுதியுடன் ஒரு

மூன்ருவது அணு சேராது. தண்ணீரின் மூலக்கூற்றிலிருக்கும் ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணு இரு ஹைடிரஜன் அணுக்களுடன் கட்டுண்டிருக்கிறது. மற்றுமொரு அணுவை இவற்றுடன் பிணேப்பது சாத்தியமானதல்ல.

மூலக்கூற்றிடைச் செயலெதிர்ச் செயல்களில் இதனே ஒத்த பண்பு எதுவும் காணப்படுவதில்லே. ஒரு மூலக்கூறு அதனருகில் இருக்கும் மூலக்கூற்றைக் கவர்ந்த பின்னர் அது அதன் கவர்ச்சி விசையை எந்த அளவிலாயினும் இழப்பதில்லே. அருகில் அமைந்திருக்கும் மூலக்கூறுகளின் நெருக்கம் போதுமான இடம் இருக்கும் வரை தொடரும்.

''போதுமான இடம் இருக்கும் வரை'' என்பதன் அர்த்தம் என்ன? மூலக்கூறுகள் உண்மையில் ஆப்பிள் பழங்கள் அல்லது முட்டைகள் போலத் தோன்றுகின்றனவா? ஆம், உண்மையில் ஒரு வகையான கருத்தின்படி இத்தகைய ஒப்புமை நியாயமானதே. மூலக்கூறுகள் திட்டமான பரிமாணங்களேயும் வடிவங்களேயும் கொண்டிருக்கும் இயற்பியல் பொருட்களாகும். மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான சமநிலேத் தூரம் அவற்றின் பரிமாணங்களே தவிர வேருென்றுமில்லே.

வெப்பவியல் இயக்கம் எவ்வாறு காட்சியளிக்கிறது?

மூலக்கூறுகள் நிலேத்திருக்கும் காலத்தில், மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயல்கள் அதிகமான அல்லது குறைவான முக்கியத்துவத்தைக் கொண்டிருக்க முடியும்.

பொருளின் மூன்று நிலேகளாகிய—வாயு, திரவ, திட நிலேகள், அவற்றில் செயல்படும் மூலக்கூற்றிடைச் செயலெதிர்ச் செயல்களேப் பொறுத்து, ஒன்றிலிருந்து மற்ருென்று வேறுபட்டிருக்கின்றன.

''வாயு'' என்ற சொல் அறிவியல் அறிஞர்களால் தொகுக்கப்பட்டது (ஒழுங்கின்மை என்னும் அர்த்தம் கொண்ட ''கேயாஸ்'' (chaos) என்னும் கிரேக்கச் சொல்லிருந்து தருவிக்கப்பட்டது).

உண்மையில், துகள்களின் பரஸ்பரப் பரப்பீடு, இயக்கம் முதலியவற்றின் முழுமையான ஒழுங்கற்ற நிலை இயற்கையிலேயே நிலைத்திருக்கின்றன என்பதற்குப் பொருளின் வாயு நிலை ஒரு உதாரணமாக அமைகிறது. வாயு நிலையில் இருக்கும் பொருளின் மூலக்கூறுகளின் இயக்கங்களைப் பார்க்க வகை செய்யும் நுண்ணோக்கி எதுவும் நம்மிடமில்லை. ஆனால் இருப்பினும், கண்ணுக்குப் புலப்படாத இவற்றின் உலகத்தை இயற்பியல் அறிஞர்கள் போதுமான தெளிவுடன் விவரிக்க முடிகிறது.

இயல்பான சூழ்நிலைகளின் கீழ் (அறை வெப்ப நிலை, வாயு மண்டல அழுத்தம் முதலியவை) ஒரு கன செ.மீ காற்றில் கிட்டத்தட்ட 2.5×10^{19} (அதாவது 25 பில்லியன் பில்லியன் கணக்கிலான மூலக்கூறுகள்) என்னும் மிக அதிக எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறுகள் அடங்கியிருக்கின்றன. இதில் ஒவ்வொரு மூலக்கூற்றின் பங்கும் 4×10^{-20} செ.மீ^{3} பருமனைக இருக்கிறது. அதாவது 3.5×10^{-7} செ.மீ நீளமுள்ள பக்கத்தைக் கொண்ட சிறு கனசதுரத்தின் பருமன் 35 Å க்குச் சமமாகும். ஆனால் மூலக்கூறுகள் பருமனில் இதை விட இன்னும் மிகச் சிறியவையாய் இருக்கின்றன. உதாரணமாக, காற்றின் அடிப்படை ஆக்கக் கூறுகளாகிய ஆக்ஸிஜன், நைட்டிரஜன் முதலியவற்றின் மூலக்கூறுகள் சராசரியாகக் கிட்டத்தட்ட 4 Å அளவுள்ள பருமனைக் கொண்டிருக்கின்றன.

ஆகவே, மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான சராசரி தூரம், மூலக்கூற்றின் பரிமாணத்தை விட 10 மடங்கு பெரியதாயிருக்கிறது. வளிமண்டலத்தில் ஒவ்வொரு மூலக்கூற்றின் சராசரி பரிமாணம் அதன் பருமனைப் போன்று 1000 மடங்கு அதிகமாயிருக்கிறது என்பதை இது குறிப்பால் தெரிவிக்கிறது.

ஒவ்வொரு சதுர மீட்டர் பரப்பிலும் சராசரியாக 100

நாணயங்கள் இருக்கும்படியாக, நாணயங்கள் ஒரு தளப்பரப் பின் மீது ஒழுங்கற்ற முறையில் எறியப்பட்டிருப்பதாகக் கற்பனை செய்யவும். நாம் வாசித்துக் கொண்டிருக்கும் புத் தகத்தின் ஒரு பக்கத்தில் ஒன்று அல்லது இரண்டு நாணயங் கள் இடம் பெற்றிருக்கின்றன என்பதே இதன் அர்த்தமா கும். வாயு மூலக்கூறுகள் எவ்வளவு அடர்த்தி குறைவாகப் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன என்பதை இது ஏறக்குறைய எடுத் துக் காட்டுகிறது.

ஒரு வாயுவின் ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் தொடர்ச்சியான ஒரு வெப்ப இயக்க நிலையில் இருக்கிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட மூலக்கூற்றை நாம் பின் தொடருவோம். இப்பொழுது, இது வலது பக்கம் நோக்கி ஏதோ ஒரு திசையில் மிக வேகமாக நகர்கிறது. இதன் பாதையில் யாதொரு இடையூறுகளையும் சந்திக்காமலிருந்தால், இம் மூலக்கூறு அதே திசைவேகத்துடன் ஒரு நேர் கோட்டின் மீது அதன் இயக்கத்தைத் தொடர்கிறது. ஆனால் ஒரு மூலக் கூற்றின் பாதை அதன் அருகில் அமைந்திருக்கும் எண்ணி கையிலடங்காத மூலக்கூறுகளால் கடக்கப்படுகிறது. மோது கைகள் தவிர்க்க முடியாதவையாயிருக்கின்றன; மோதிக் கொள்ளும் இரு பில்லியர்டு பந்துகளைப் போல மூலக்கூறு கள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று விலகிச் செல்கின்றன. நாம் கவ னித்துக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறு எத்திசையை நோக்கி விரைகிறது? அது கூடுதல் வேகத்தைப் பெறுமா? அல்லது அதன் வேகத்தை இழக்குமா? எதுவும் சாத்தியமானதாயிருக் கிறது. ஏனெனில் இதன் மோதுகைகள் முற்றிலும் மாறு பட்ட வகைகளைச் சேர்ந்தவைகளாயிருக்கின்றன. முன்புற மிருந்து, அல்லது பின்புறமிருந்து, வலப்புறமிந்தோ, அல் லது இடப்புறமிருந்தோ, பலமாகவோ, அல்லது இலேசா கவோ மோதல்கள் உண்டாக முடிகிறது. தற்செயலான இந்தச் சந்திப்புக்களின் போது ஏற்படும் இத்தகைய ஒழுங்

கற்ற மோதல்களுக்கு உட்படுத்தப்பட்டு நாம் கவனித்துக் கொண்டிருக்கும் ஒரு மூலக்கூறு, வாயு அடைபட்டிருக்கும் பாத்திரத்தின் எல்லாப் பகுதிகளின் வழியாகவும் விரைந்து செல்கிறது என்பது தெரிய வருகிறது.

வாயு மூலக்கூறுகள் ஒரு மோதுகை கூட இல்லாமல் எவ்வளவு தூரம் செல்ல முடியுமா?

இது, மூலக்கூறுகளின் பருமன்களேயும், வாயுவின் அடர்த்தியையும் பொறுத்திருக்கிறது. மூலக்கூறுகளின் பருமன் அதிகமாயிருந்து ஒரு பாத்திரத்தில் அடைபட்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாயிருந்தால் அவை மிக் அடிக்கடி மோதுகின்றன. மோதல் எதுவுமின்றி ஒரு மூலக்கூறு சென்ற சராசரி தூரம், சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (mean free path) என அழைக்கப்படுகிறது. சாதாரண சூழ்நிலேயில் ஹைடிரஜன், ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி மோதலிடைத் தூரங்கள் முறையே 11×10^{-6} செ.மீ $= 1100$ Å, 5×10^{-6} செ.மீ $= 500$ Å ஆகியவற்றுக்குச் சமமாயிருக்கின்றன. 5×10^{-6} செ.மீ (ஒரு மில்லிமீட்டரில் இருபது ஆயிரங்களில் ஒரு பகுதி) என்னும் தூரம் மிகச் சிறியதாக இருக்கிறது; ஆனுல் மூலக்கூறுகளின் பருமன்களுடன் ஒப்பிடும் பொழுது, இத்தூரம் மிக அதிகமானதாயிருக்கிறது. ஒரு பில்லியர்டு பந்தின் 10 மீ நீளமுள்ள பாதை, அளவில் ஒரு ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூற்றின் 5×10^{-6} செ.மீ நீளமான ஒரு பாதையுடன் ஒத்திருக்கிறது.

ஒரு திரவத்தின் இயல்பமைப்பு, வாயுவின் இயல்பமைப்பிலிருந்தும் மிகவும் வேறுபட்டிருக்கிறது. திரவத்தின் மூலக்கூறுகள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வெகுதூரத்தில் இருக்கின்றன. மிக அரிதாகவே அவை மோதிக் கொள்கின்றன. ஒரு திரவத்தில் அடங்கியிருக்கும் ஒரு மூலக்கூறு, எப்பொழுதும் ஏனைய மூலக்கூறுகளாலான சுற்றுப் புறத்தால் நெருக்கமாகச் சூழப்பட்டு அமைந்திருக்கிறது. ஒரு கோணிப்

பையில் உள்ள உருளைக் கிழங்குகளைப் போன்று ஒரு திரவத்தின் மூலக்கூறுகள் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன. உண்மைதான். ஆனால் இவ்விரண்டுக்குமிடையே ஒரு வேறுபாடு இருக்கிறது. ஒரு திரவத்தின் மூலக்கூறுகள் தொடர்ச்சியான முறைமையற்ற வெப்ப இயக்க நிலையில் இருக்கின்றன. அவை மிகவும் நெருக்கமாக அமைந்திருப்பதால், வாயுவின் மூலக்கூறுகளைப் போன்று கட்டற்ற முறையில் எளிதாக இயங்க முடியாது. அவற்றில் ஒவ்வொன்றும், ஒரே மூலக்கூறுகளின் தொகுதியால் சூழப்பட்டு, நடைமுறையில் ஒரே இடத்திலேயே அமைதிருக்கிறது. இது திரவத்தால் அடைக்கப்பட்டிருக்கும் பரிமாணங்களின் உள்ளே மிக மெதுவாக இயங்குகிறது. திரவம் அதிகப் பாகுநிலையைக் (viscous) கொண்டிருந்தால், இடப்பெயர்ச்சி மெதுவாகவே ஏற்படுகிறது. ஆனால் ஒரு வாயு மூலக்கூறு 700 Å தூரம் கடப்பதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தில், தண்ணீரைப் போன்று எளிதில் இடம் பெயரக் கூடிய திரவத்திலுங்கூட, ஒரு மூலக்கூறு 3 Å தூரமே நகர்ந்து செல்கிறது.

ஒரு திடப்பொருளில், மூலக்கூறுகளின் செயலெதிர்ச் செயல்களின் விசைகள் அவற்றின் வெப்ப இயக்கத்துடன் உறுதியாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. திடப் பொருளில், பெரும்பாலான மூலக்கூறுகள் எப்பொழுதும் குறிப்பிட்ட இடங்களிலேயே அமைந்திருக்கின்றன. மூலக்கூறுகள் யாவும் அவற்றின் சமநிலைகளை மையமாகக் கொண்டு அதிர்வு செய்வதுதான் வெப்ப இயக்கத்தின் ஒரே விளைவாகும். மூலக்கூறுகளின் முறைமையான இடப்பெயர்ச்சி இல்லாமையே. சரியாக நிலைத்தன்மை என நாம் அழைப்பதன் வினைமுதலாகும். உண்மையில், மூலக்கூறுகள் அவற்றின் அண்டை மூலக்கூறுகளை மாற்றுமலிருந்தால், ஒரு பொருளின் வெவ்வேறு பாகங்கள் ஒன்றோடொன்று திட்டமான பிணைப்பைக் கொண்டிருக்கின்றன.

பொருட்களின் இறுகுதிறன்

மழைத் துளிகள் கூரையின் மீது தட்டி ஒலியெழுப்புவது போலவே வாயு மூலக்கூறுகளும், பாத்திரத்தின் அவர்கள் மீது மோதுகின்றன. இம்மோதல்களின் எண்ணிக்கை எண் ணிலடங்காதவை. இவற்றின் ஒருமித்த செயற்பாடு உரு வாக்கும் அழுத்தமே இயந்திரத்தின் உந்துத் தண்டை இயக் கிறது. ஒரு குண்டை வெடிக்கச் செய்கிறது அல்லது ஒரு பலூனை வெடிக்கச் செய்கிறது. மூலக்கூறுகளின் உதைப்பு களின் ஒரு தொகுதியே வளியழுத்தமாகும். கொதித்திக் கொண்டிருக்கும் தேநீர்க் கெண்டியின் முடியைக் குதிக்கச் செய்வதும் இவ்வழுத்தமே, துப்பாக்கியிலிருந்து குண்டை வெளிச் செலுத்துவதும் இவ்விசையே!

வாயு அழுத்தம் எதனுடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது? ஒரு தனி மூலக்கூறு அதிக பலத்துடன் கூடிய உதைப்பை உண்டாக்கினுல், அழுத்தம் அதிகமாயிருக்கும் என்பது தெரிய வருகிறது. அழுத்தம் ஒரு விஞடியில் செய்யப்பட்ட உதைப்புகளின் எண்ணிக்கையைச் சார்ந்திருக்கிறது என் பது வெளிப்படையாகத் தெரிகிறது! ஒரு பாத்திரத்தில் அதிக எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறுகள் இருந்தால், மிக வும் அடிக்கடி உதைப்புகள் ஏற்படுத்தப்படுகின்றன. ஆகவே அழுத்தமும் அதிகமாயிருக்கிறது. ஆகவே கொடுக்கப்பட்ட ஒரு வாயுவின் அழுத்தமாகிய p, முதலாவதாக, அதன் அடர்த்திக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது.

வாயுவின் பொருண்மை மாறிலியாய் இருந்தால், அதன் கன அளவைக் குறைப்பதனுல், நாம் அதன் அடர்த்தியை இதனை ஒத்த மடங்குகளால் அதிகப்படுத்துகிறேம். ஆகவே இந்த மூடப்பட்ட பாத்திரத்தில் இருக்கும் ஒரு வாயுவின் அழுத்தம், அதன் கன அளவுக்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கி றது. அல்லது இன்னெரு விதமாகக் கூறினுல், அழுத்தம்,

கன அளவு முதலியவற்றின் பெருக்குத் தொகை மாறிலியாயிருக்கிறது

$$pV = \text{மாறிலி (const)}$$

இவ்வெளிய விதி, ஆங்கிலேய இயற்பியல் அறிஞர் பாய்ல், பிரெஞ்சு நாட்டைச் சேர்ந்த அறிவியல் அறிஞர் மாரியெட் ஆகியவர்களால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இயற்பொருள் சார்ந்த அறிவியலின் வரலாற்றில் வரும் முதல் அளவு சார்ந்த (quantitative) விதிகளுள் பாய்லின் விதியும் (மாரியெட்டின் விதி எனவும் அறியப்பட்டிருக்கிறது) ஒன்றாகும். ஆனால், வெப்ப நிலை மாறாமலிருக்கும் பொழுது மட்டுமே இவ்விதி உண்மையாயிருக்கிறது.

ஒரு வாயு அழுத்தப்படும் பொழுது பாய்லின் விதி நன்கு பின்பற்றப்படுவதில்லை. மூலக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று நெருங்கி வர ஆரம்பிக்கின்றன. இவற்றிற்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயல்கள் வாயுவின் இயக்கத்தைப் பாதிக்க ஆரம்பிக்கின்றன.

வாயு மூலக்கூறுகளின் இயக்கங்களில் செயலெதிர்ச் செயல்களின் விசைகளின் குறுக்கீடுகள், முழுவதுமாக இல்லாதிருக்கும் சூழ்நிலைகளின்தான் பாய்லின் விதி செல்லுபடியாகிறது. ஆகவே பாய்லின் விதியை இலட்சிய வாயுவின் விதி என நாம் அழைக்கிறோம்.

''இலட்சிய'' என்ற பெயரடை, வாயு என்ற சொல்லுடன் சேர்ந்து வரும் பொழுது, சிறிது விந்தையாகத் தோன்றுகிறது. இலட்சியம் என்றால் ''முழு நிறைவானது'' என்பது பொருளாகும். அதாவது இதைவிடச் செம்மைப்படுத்துதல் சாத்தியமானதல்ல.

ஒரு மாதிரியோ அல்லது வரைபடமோ மிகவும் எளிமையாயிருக்க வேண்டும் என்றுதான் இயற்பியல் அறிஞர் விரும்புகிறார். கணக்கீடுகள் சுலபமாக்கப்படுகின்றன. இயற்

பியல் இயற்பாடுகளின் விளக்கவுரைகள் எளிமையானவைக ளாயும் தெளிவானவைகளாயும் இருக்கின்றன.

போதுமான அளவுக்கு அடர்த்தி குறைக்கப்பட்ட வாயுக்களின் பண்புகள், இலட்சிய வாயுக்களின் பண்புகளி லிருந்தும் நடைமுறையில் வேறுபடுத்திக் காட்ட முடியாத வைகளாய் இருக்கின்றன.

வாயுக்களைக் காட்டிலும், திரவங்கள் மிகக் குறைந்த அளவு இறுகுந்தன்மையுடையனவாயிருக்கின்றன. ஒரு திரவத்தில், ஏற்கனவே மூலக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்றன. இறுக்குதலினால் மூலக்கூறு களின் நெருக்கம் அதிகப்படுகிறது. மிக அதிக அழுத்தத் தின் பொழுது, இறுக்குதலினால் மூலக்கூறுகளே அழுத்தப் படுகின்றன.

எதிர்த்துத் தள்ளும் விசைகள், ஒரு திரவத்தின் இறுக் குதலுக்கு எந்த அளவுக்கு இடையூறாய் அமைகின்றன என் பதை, கீழ்வரும் எண்மதிப்புகளிலிருந்தும் நாம் தெரிந்து கொள்ள முடிகிறது. ஒரு வாயுவின் அழுத்தம் ஒரு வளிய ழுத்தத்திலிருந்து இரண்டு வளியழுத்தங்களாக அதிகரிக் கும் பொழுது, அவ்வாயுவின் கன அளவு பாதியாகக் குறை கிறது. ஆனால் இதே அழுத்த வித்தியாசத்தின் போது தண் ணீரின் கன அளவு 1/20,000 மடங்கும், பாதரசத்தின் கன அளவு 1/250,000 மடங்கும் மாறுதலடைகின்றன.

கடலின் ஆழத்தில் செயல்படும் மிகவும் அதிகமான அழுத்தத்தால் கூட தண்ணீரை குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்கு இறுகச்செய்ய முடியவில்லை. உண்மையில் 10 மீட்டர் தண்ணீர் ஸ்தம்பம் ஒரு வளியழுத்தத்துக்குச் சமமான அழுத்தத்தை உண்டாக்குகிறது. 10 கி.மீ ஆழமுள்ள தண்ணீர் அடுக்கு ஒன்றின் கீழ், 1000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத் தம் செயல்படுகிறது. இவ்வழுத்தத்தால் தண்ணீரின் கன அளவு $1000/20{,}000 = 1/20$ மடங்கு குறைகிறது.

திடப் பொருள்களின் இறுகுதிறன் திரவங்களின் இறு குதிறன்களைக் காட்டிலும் சிறிதே வேறுபட்டிருக்கிறது. இது நாம் புரிந்து கொள்ளக் கூடியதாக இருக்கிறது. இவ்விரு உதாரணங்களிலும், ஏற்கனவே மூலக்கூறுகள் ஒன்றை யொன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்றன. அதனால் ஏற் கனவே ஒன்றையொன்று பலமாக எதிர்த்துத் தள்ளிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளை, மேலும் நெருங்கிச் சேர்ப் பதனால் மட்டுமே இறுகுதல் ஏற்படச் செய்ய முடியும். 50 முதல் 100 ஆயிரம் வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமாயி ருக்கும் மீள் உயர் அழுத்தங்களினால், இரும்பை அதன் கன அளவில் 1/1000 மடங்கும், ஈயத்தை அதன் கன அள வில் 1/7 மடங்கும் இறுகச் செய்ய முடிகிறது.

பூமியில் நிலைபெற்றிருக்கும் சூழ்நிலைகளில் திடப் பொருள்களைக் குறிக்கத்தக்க அளவு இறுகச் செய்வதில் நாம் வெற்றி காண முடியாது என்பது இவ்வுதாரணங்களி லிருந்தும் தெரிய வருகிறது.

ஆனால் ஒப்பிட இயலாத அளவுக்கு அதிக பலத்துடன் இறுக்கப்பட்டிருக்கும் பருப்பொருள்களைக் கொண்டுள்ள பொருட்கள் இவ்வுலகில் நிலைபெற்றிருக்கின்றன. 10^6 கி/செ.மீ^{3} என்னும் மதிப்பை எட்டுகின்ற பொருட்களின் அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கும் விண்மீன்களை வானியல் அறிஞர்கள் கண்டுபிடித்துள்ளனர். இவ்விண்மீன்களுக்குள் அமைந்திருக்கும் ''வெண் குள்ளர்கள்'' (வெண்மை என் பது அவற்றின் ஒளிரும் தன்மையாலும், 'குள்ளர்கள்' என்பது அவற்றின் சார்பான சிறு வடிவங்களாலும் ஏற் பட்டன) என்றழைக்கப்படும் விண்மீன்களினுள் மிகவும் அதி கமான அழுத்தம் செயல்படுகிறது.

உயரத்தைப் பொறுத்து அழுத்தத்தின் மாறுதல்

உயரம் அதிகமாகும் பொழுது அழுத்தத்தில் வீழ்ச்சி ஏற்படுகிறது. பிரெஞ்சுக்காரராகிய பெரிரியர் என்பவர் பாஸ்கலின் செயல் முறை போதனைகளைப் பின்பற்றி, 1648ம் ஆண்டில் இதனை முதன் முதலில் தெளிவு படுத்தினார். ப்ளோரின் பெரிரியர் வசித்து வந்து இடத்துக்கு அருகில் அமைந்திருந்த பூடி டோம் என்ற மலை, 975 மீ உயரமானது. இம்மலையின் மேல் ஏறிய பின்னர், டாரிசெல்லின் குழாயில், பாதரச மட்டம் 8 மி.மீ கீழே இறங்கியிருந்ததை அளவீடுகள் காண்பித்தன.

உயரம் அதிகமாகும் பொழுது காற்றழுத்தத்தில் வீழ்ச்சி ஏற்படுவது மிகவும் இயல்பானதே! ஏனெனில் இப்பொழுது குறைந்த உயரமுடைய காற்று ஸ்தம்பமே, அளவிடும் கருவியின் மீது கீழ் நோக்கி அழுத்துகிறது.

நாம் ஆகாய விமானத்தில் எப்பொழுதேனும் பயணம் செய்திருந்தால், விமானம் எவ்வளவு உயரத்தில் பறந்து கொண்டிருக்கிறது என்பதை, பத்து மீட்டர்களுக்குத் துல்லியமாகக் காட்டக் கூடிய ஒரு கருவி விமான ஓட்டி அறையின் முன் சுவரில் இருப்பதை நாம் கண்டிப்பாக அறிந்திருக்கக் கூடும். இக்கருவி உயரமானி (altimeter) என அழைக்கப்படுகிறது. இது ஒரு சாதாரண வளியழுத்தமானியாகும்; ஆனால் கடல் மட்டத்துக்கு மேல் உள்ள உயரங்களை நேரடியாகக் காட்டும்படியாக இது குறியீடு செய்யப்பட்டிருக்கிறது.

உயரம் அதிகரிக்கும் பொழுது அழுத்தம் குறைகிறது. இச்சார்பைக் குறிக்கும் ஒரு சூத்திரத்தை நாம் காண விழைவோம். h_1, h_2 என்னும் உயரங்களுக்கிடையில் அமைந்திருக்கும் ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பளவுடைய சிறு

காற்று அடுக்கை நாம் தனிமைப்படுத்துவோம். மிகப் பெரியதாக இல்லாத ஒரு அடுக்கினுள், உயரத்தினுல் ஏற் படும் அடர்த்தியின் மாறுதல் குறிக்கப்பட முடியாததாயி ருக்கிறது. ஆகவே நாம் தனிமைப்படுத்திய காற்றுக் கன பரிமானத்தின் (இது ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் அடிப்பரப் பையும், h_2-h_1 என்ற உயரத்தையும் கொண்ட ஒரு சிறிய உருளையாக இருக்கிறது) எடை,

$$mg=\rho\,(h_2-h_1)\,g$$

ஆகும். இந்த எடையே, h என்ற உயரத்திலிருந்து, h_2 என்ற உயரத்துக்கு ஏறுவதால், உண்டாகும் அழுத்தத்தின் குறைவைக் குறிக்கிறது. அதாவது,

$$\frac{p_1-p_2}{\rho}=g\,(h_2-h_1)$$

ஆனுல் பாய்ல் விதிப்படி ஒரு வாயுவின் அடர்த்தி அதன் அழுத்தத்துக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. இதன் விளை வாக,

$$\frac{p_2-p_2}{p}\backsim(h_2-h_1)$$

உயரம் h_2 லிருந்து h_1 ஆகக் குறைக்கப்படும் பொழுது, உண்டாகும் அழுத்த அதிகரிப்பின் விகிதமே, சமன்பாட் டின் இடது கைப் பக்கத்தில் அமைந்திருக்கிறது. ஆகவே அழுத்தத்தில் ஏற்படும் ஒரே சதவீத மாறுதல், சர்வசம மான h_2-h_1 ன் மதிப்புக்கு உகந்ததாய் இருக்கிறது.

கடல் மட்டத்துக்கு மேலே ஒவ்வொரு கிலோமீட்டர் உயரத்திலும், அழுத்தம் 0.1 விகித அளவு இறங்குகிறது என்பதை ஒன்றொடொன்று முற்றிலும் ஒத்திருக்கும் அளவீடு களும் கணக்கீடுகளும் நிரூபிக்கின்றன. கடல் மட்டத்துக் குக் கீழே ஆழமாக இறங்கும் பொழுதும் இது உண்மையா

யிருக்கிறது; நாம் கடல் மட்டத்திலிருந்து ஒரு கிலோமீட்டர் கீழே இறங்கும் பொழுது அழுத்தம் அதன் மதிப்பில் 0.1 பங்கு அதிகமாகிறது.

முந்திய உயரத்தில் உள்ள அழுத்தத்தின் மதிப்பில் 0.1 பகுதி அளவு மாறுதலைப் பற்றி நாம் பேசிக் கொண்டிருக்கிறோம். கடல் மட்டத்திலிருந்து ஒரு கிலோ மீட்டர் உயரே செல்லும் பொழுது, அழுத்தம், கடல் மட்டத்திலிருப்பதைப் போன்று 0.9 மடங்காகக் குறைகிறது என்பதே இதன் பொருளாகும். அடுத்து ஒரு கிலோமீட்டர் உயரே செல்லும் பொழுது, அழுத்தம், கடல் மட்டத்திலிருக்கும் அழுத்தத்தில் 0.9 மடங்கில் 0.9 மடங்குக்குச் சமமாயிருக்கிறது. 3 கிலோமீட்டர்கள் உயரத்தில், அழுத்தம், கடல் மட்டத்திலிருக்கும் அழுத்தத்தில் 0.9 மடங்கில், 0.9 மடங்கில் 0.9 மடங்குக்கு, அதாவது $(0.9)^3$ மடங்குக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவ்விவாதத்தை இன்னும் தொடர்வது கடினமல்ல.

கடல் மட்டத்திலிருக்கும் அழுத்தத்தை p_0 எனக் குறித்தால், h என்னும் உயரத்தில் (கிலோமீட்டர்களில் குறிக்கப்படுகிறது) இருக்கும் அழுத்தத்தை நாம் கீழ்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

$$p = p_0 \times (0.87)^h = p_0 \times 10^{-0.06\,h}$$

இன்னும் அதிகத் துல்லியமான எண் அடைப்புக்குறிக்குள் எழுதப்பட்டிருக்கிறது. 0.9 என்பது முழுமையாக்கப்பட்ட மதிப்பாகும். எல்லா உயரங்களிலும் வெப்ப நிலே சர்வசமமாக இருக்கிறது என்பதை இச்சூத்திரம் முன்னதாகத் தற்கோள் கொள்கிறது. ஆனுல், வளி மண்டலத்தின் வெப்ப நிலே உயரத்தைப் பொறுத்து மாறுகிறது; மேலும் ஒரு சிக்கலான விதிக்குட்பட்டு இது மாறுகிறது என்பது தான் உண்மை நிலேயாகும். இருப்பினும், நமது சூத்திரம்

சாதாரணமாக நல்ல முடிவுகளையே தருகிறது. நூற்றுக் கணக்கான கிலோமீட்டர்கள் உயரம் வரையிலும் இது பயன்படுத்தப்படலாம்.

கிட்டத்தட்ட 5.6 கி.மீ உயரம் கொண்ட எல்ப்ரசின் உச்சியில் அழுத்தம் கிட்டத்தட்ட பாதியாகக் குறைகிறது என்பதையும், 22 கி.மீ உயரத்தில் அமைந்திருக்கும் அடுக்கு மண்டலத்தில் (stratosphere) (மனிதர்களுடன் பயணம் செய்யும் பலூன்களின் உயர் மட்ட உயரம்) அழுத்தம் 50 மி.மீ பாதரச ஸ்தம்பத்தின் அழுத்தம் ஆகக் குறையும் என்பதையும் இச்சூத்திரத்தின் மூலம் எளிதில் தீர்மானிக்க முடிகிறது.

760 மி.மீ பாதரச ஸ்தம்பத்தின் அழுத்தம் இயல்பானது என்று நாம் கூறும் பொழுது, ''கடல் மட்டத்தில்'' என்பதையும் சேர்த்துக் கூறுவதற்கு மறந்துவிடக் கூடாது. 5.6 கி.மீ உயரத்தில் இயல்பான அழுத்தம் 760 மி.மீ பாதரச ஸ்தம்பமாக இருக்காமல் 380 மி.மீ பாதரச ஸ்தம்பத்தின் அழுத்தமாக இருக்கிறது.

அழுத்தத்துடன், காற்றின் அடர்த்தியும் இதே விதியின்படி, உயரம் அதிகமாகும் பொழுது குறைகிறது. 160 கி.மீ உயரத்தில் காற்று அதிகமாகத் தங்கியிருப்பதில்லை. உண்மையில்,

$$(0.87)^{160} = 10^{-10}$$

பூமியின் மேற்பரப்பில் காற்றின் அடர்த்தி ஏறக்குறைய 1000கி/மீ^{3} க்குச் சமமாயிருக்கிறது; இதனுல் நம் சூத்திரத்தின்படி 160 கி.மீ உயரத்தில், ஒரு கன மீட்டரில் 10^{-7} கிராம் எடையுள்ள காற்று இருக்க வேண்டும் என்பதுதான் இதன் பொருளாகும். ஆனுல் இவ்வுயரத்தில் காற்றின் அடர்த்தி, இங்குக் குறிப்பிடப்பட்டிருக்கும் மதிப்பைவிட 10 மடங்கு அதிகமாயிருக்கிறது.

பல நூற்றுக்கணக்கான கிலோமீட்டர் உயரங்களில், உபயோகப்படுத்தப்படும் பொழுது நம் சூத்திரம் இன்னும் குறைவான மதிப்பீட்டையே கொடுக்கிறது. உயரத்தைப் பொறுத்து வெப்ப நிலே மாறுதலும், சூரியக் கதிர் வீச்சின் செயற்பாட்டுக்கு உட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் காற்று மூலக்கூறுகளின் சிதைவு என்னும் ஒரு குறிப்பிட்ட இயற்பாடுமேதான், அதிக உயரத்தில் சூத்திரம் உபயோகமற்றதாயிருக்கிறது என்ற உண்மைக்குக் காரணமாக அமைகிறது. இதைப் பற்றி நாம் இங்கு விவரிக்கப்போவதில்லே.

வெற்றிடம்

செயல்முறைப்படி வெறுமையாய் இருக்கும் ஒரு பாத்திரம் மிக அதிக எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறுகளேக் கொண்டுள்ளது.

இயற்பியல் கருவிகள் பலவற்றில் வாயுவின் மூலக்கூறுகள் அதிக இடையூருய் அமைகின்றன. வானெலி வால்வுகள், X கதிர்க் குழாய்கள், அடிப்படைத் துகள்களின் முடுக்கிகள் ஆகிய இக்கருவிகள் எல்லாவற்றிற்கும் வெற்றிடம் (வெறுமை என்னும் பொருள் கொண்ட இலத்தீன் சொல்லாகிய ''வேகஸ்'' என்பதிலிருந்து) அதாவது மூலக்கூறுகளிலிருந்து விடுபட்டிருக்கும் விசும்பு, தேவைப்படுகிறது. சாதாரண மின்சார விளக்கிலும் கூட வெற்றிடம் இருக்க வேண்டியது அவசியம். ஒரு விளக்கினுள் காற்று நுழைந்தால், அது ஆக்ஸிஜன் ஏற்றப்பட்டு, உடனேயே எரிந்து விடுகிறது.

மிகச் சிறந்த வெற்றிடக் கருவிகளில், 10^{-8} மி.மீ பாதரச அளவுள்ள வெற்றிடம் உண்டாக்கப்பட்டிருக்கிறது. முற்றிலும் ஒதுக்கிவிடக் கூடிய ஒரு அழுத்தமாக இது தோன்றலாம். அழுத்தம் இந்த அளவு மாறும் பொழுது,

அழுத்தமானியில் பாதரச மட்டம் ஒரு மில்லிமீட்டரில் நூறு மில்லியனில் ஒரு பகுதி தூரமே நகர்கிறது.

இருப்பினும், மிகக் குறைந்த இவ்வழுத்தத்திலும், ஒரு கன சென்டிமீட்டர் கன அளவில் பல நூறு மில்லியன் மூலக்கூறுகள் அடங்கியிருக்கின்றன.

இத்தகைய வெற்றிடத்துடன் விண்மீன்களுக்கிடையே யான விசும்பில் அமைந்திருக்கும் வெறுமையான இடை வெளியை ஒப்பிடுவது நம் கவனத்தைக் கவர்வதாக இருக் கிறது. அங்கு பல கன சென்டிமீட்டர்கள் கன அளவில், சராசரியாக பொருளின் ஒரு அடிப்படைத் துகளையே நாம் காண முடிகிறது.

வெற்றிடத்தை ஏற்படுத்துவதற்கு பிரத்யேகமான பம் புகள் உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன. உந்துத் தண்டு ஒன்றின் இயக்கத்தின் மூலம் வாயுவை வெளியேற்றும் இயல் புடைய சாதாரண பம்புகள் அதிக பட்சம், 0.01 மி.மீ பாதரச ஸ்தம்ப அழுத்தம் கொண்ட வெற்றிடத்தை உண் டாக்க முடியும். பாதரசம் அல்லது எண்ணெய் பயன்படுத் தப்படுகிற விரவல் (diffusion) பம்பின் உதவியால், ஒரு நல்ல வெற்றிடம் அல்லது நாம் அழைப்பது போல உயர் வெற்றிடத்தை உண்டாக்க முடிகிறது. இப்பம்பில், வாயு மூலக்கூறுகள், பாதரசம் அல்லது எண்ணெய் ஆவியின் பாய்ச்சிலில் பிடிபட்டுவிடுகின்றன.

பாதரச பம்புகள், இதனைக் கண்டுபிடித்த அறிஞரின் பெயராகிய லாங்மீர் என்னும் பெயரைக் கொண்டிருக்கி றது. கிட்டத்தட்ட 0.1 மி.மீ பாதரச அழுத்தம் இருக்கும் படி முன்னதாகவே அழுத்தம் குறைக்கப்பட்ட பின்னர்தான் இப்பம்பு வேலை செய்யத் தொடங்குகிறது. இவ்வாறு முன் னதாகவே அடர்த்தி குறைக்கப்படும் இச் செயல், முதல் வெற்றிடத்தை (force vacuum) உருவாக்குதல் என்று அழைக்கப்படுகிறது.

இதன் செயற்பாட்டின் அடிப்படைத் தத்துவம் பின் வருமாறு அமைந்திருக்கிறது. பாதரசத்தைக் கொண்டுள்ள ஒரு பாத்திரம், வெற்றிடம் உருவாக்கப்பட வேண்டிய இடைவெளி, ஒரு முன்னிலைப் பம்பு (force pump) ஆகியவற்றுடன் கண்ணாடியாலான ஒரு சிறு கொள்கலம் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. பாதரசம் சூடேற்றப்பட்டு, அதன் ஆவியை முன்னிலைப் பம்பு வெளியில் எடுத்துச் செல்கிறது. பாதரச ஆவி செல்லும் வழியில் உள்ள வாயு மூலக்கூறுகளைத் தன்னுடன் பிடித்து அவற்றை முன்னிலை பம்புக்குக் கொண்டு செல்கிறது. பாதரச அணுக்கள் திண்மமடைந்து (இதற்காக ஓடும் தண்ணீரின் மூலம் குளிரச் செய்யும் வசதி செய்யப்பட்டிருக்கிறது) பாதரசம் அதன் பயணத்தைத் தொடங்கிய அதே பாத்திரத்தினுள் திரவமாகச் சொட்டுகிறது.

நாம் சற்று முன்னர் விவரித்த சோதனைச் சாலையின் சூழ்நிலைகளில் கிடைக்கப் பெற்ற வெற்றிடம், வெறுமை என்ற சொல்லின் உலகின் தனிமுதல் பொருளிலிருந்தும் இன்னும் வெகு தூரத்தில் இருக்கிறது. வெற்றிடம் என்பது மிக விதிகமாக அடர்த்தி குறைக்கப்பட்ட வாயுவாகும். இவ்வாறு அடர்த்தி குறைக்கப்பட்ட வாயுவின் பண்புகள், சாதாரண வாயுவின் பண்புகளிலிருந்தும் அதிகமாக வேறுபட்டிருக்கலாம்.

ஒரு சராசரி மூலக்கூற்றின் சராசரி மோதலிடைத் தூரம், அவ்வாயுவைக் கொண்டிருக்கும் பாத்திரத்தின் பரிமாணங்களை விட அதிகமாயிருக்கும் பொழுது, வெற்றிடத்தில் அமைந்திருக்கும் மூலக்கூறுகளின் இயக்கம் அதன் பண்பை மாற்றிக் கொள்கிறது. இப்பொழுது மூலக்கூறுகள் மிக அரிதாகவே ஒன்றொடொன்று மோதுகின்றன. மூலக்கூறுகள் முதலில் பாத்திரத்தின் ஒரு சுவரின் மீதும் பின்னர் மற்றொரு சுவரின் மீது மோதி, இவ்வாறாக குறுக்கு நெடுக்

கான நேர் கோட்டுப் பாதையின் மீது பயணங்களை மேற் கொள்கின்றன.

எந்த அழுத்தத்தின் போது இவ்வாறு நடைபெறுகிறது என்பதை நாம் கணக்கிடுவோம். வளியழுத்தத்துக்குச் சமமான அழுத்தத்தில் இருக்கும் காற்றில் மூலக்கூறுகளின் சராசரி மோதலிடைத் தூரம் 5×10^{-6} செ. மீக்குச் சமமாயிருக்கிறது என்று மேலே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். நாம் இதை 10^{7} என்ற காரணியால் பெரிதாக்கினால், இது 50 செ.மீ ஆகிறது. அதாவது சராசரி அளவுடைய பாத்திரத்தை விட, குறிப்பிட்டுச் சொல்லும் அளவுக்கு பெரியதாயிருக்கிறது. சராசரி மோதலிடைத் தூரம், அடர்த்திக்கு எதிர் விகிதத்திலிருப்பதாலும், இதனால் அழுத்தத்துக்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதாலும், இதற்கான அழுத்தம் வளியழுத்தத்தில் 10^{-7} மடங்குக்கு அல்லது கிட்டத்தட்ட 10^{-4} மி.மீ பாதரச ஸ்தம்ப அழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்க வேண்டியதிருக்கிறது.

கோள்களுக்கிடையே அமைந்திருக்கும் அசும்பு கூட முற்றிலும் வெறுமையானதல்ல. ஆனால், இதில் அமைந்திருக்கும் பருப்பொருளின் அடர்த்தி ஏறக்குறைய 5×10^{24} கி/செ.மீ^{3} ஆகும். கோள்களுக்கிடையேயான விசும்பில் அமைந்திருக்கும் பருப்பொருளின் பிரதான ஆக்கக்கூறு அணு நிலையிலிருக்கும் ஹைடிரஜனேயாகும். இயலுலக அண்டத்தைச் (cosmic space) சேர்ந்த அசும்பு ஒரு கன சென்டிமீட்டர் கன அளவினுள் பல ஹைடிரஜன் அணுக்களைக் கொண்டிருக்கின்றன என தற்காலத்தில் எண்ணப்படுகிறது. ஒரு ஹைடிரஜன் மூலக்கூறு ஒரு பட்டாணியின் அளவுக்குப் பெரிதாக்கப்பட்டு மாஸ்கோவில் வைக்கப்பட்டால், இதற்கு மிகவும் அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் ''விண்வெளி அண்டை மூலக்கூறு'', ''துலா'' வில் அமைந்திருக்க வேண்டும்.

படிகங்கள்

படிகங்கள் பார்ப்பதற்கு மிக அழகானவை, மிக அரிதாகக் காணப்படும் கற்கள் எனப் பலர் எண்ணுகின்றனர். அவை பல நிறங்களில் காணப்படுகின்றன. பொதுவாக அவை ஒளி புகு பொருட்களாக இருக்கின்றன; ஆனால் அவற்றில் மிகவும் முக்கியமான பண்பு என்னவெனில், அவை அழகான, ஒழுங்கான அமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. பொதுவாகப் படிகங்கள் இலட்சிய தளப்பரப்புகளைப் பக்கங்களாகவும் கூர்மையான நேர் விளிம்புகளையும் கொண்டுள்ள பலதளப்பிளம்புருகளாயிருக்கின்றன. அவைகளின் பக்கங்களில் அமைந்திருக்கும் ஆச்சரியம் தரக்கூடிய வர்ண ஜாலங்களாலும் வியக்கத்தக்க ஒழுங்கான இயல்பமைப்பாலும் அவை நம் கண்களை மகிழ்விக்கின்றன.

பகட்டல் அதிகமில்லாத படிகங்களாகிய இந்துப்பு, இயற்கையில் கிடைக்கும் சோடியம் குளோரைடு, அதாவது சாதாரண உப்பு முதலியவை இவற்றில் அடங்கியவையே. இயற்கையில் இவை செவ்வக இணைகரத்திண்மங்கள் அல்லது கனசதுரங்களின் வடிவத்தில் காணப்படுகின்றன. கால்சைட் (calcite) படிகங்களும் ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும் தன்மையுடைய சாய்கோன இணைகரத்திண்மம் என்னும் எளிய வடிவத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன. குவார்ட்ஸ் படிகங்கள் அதிகச் சிக்கலானவை. ஒவ்வொரு சிறு படிகமும் வித்தியாசமான அமைப்புக்களையுடைய எண்ணிக்கையில் அதிகமான பக்கங்கள் ஒவ்வொன்றும் மாறுபட்ட நீள அளவுகளைக் கொண்ட விளிம்புகளில் வெட்டும் அமைப்பைக் கொண்டிருக்கிறது.

ஆயினும், ஒரு படிகம், காட்சிச்சாலையில் வைக்கத்தக்க அதிசயம் வாய்ந்த அரும் பொருளல்ல. எல்லா இடங்களிலும் படிகங்கள் நம்மைச் சூழ்ந்திருக்கின்றன. நாம்

வீடுகள் கட்டுவதற்கும் இயந்திரங்களை அமைப்பதற்கும் பயன்படுத்தும் திடப்பொருட்கள் மற்றும் நம் அன்றுட வாழ்வில் உபயோகிக்கும் பொருட்கள் முதலியவற்றில் பெரும்பாலானவை படிகங்களாக இருக்கின்றன. ஆனுல் நாம் ஏன் இதைக் கண்டுணரவில்லை? தனிப்பட்ட ஒற்றைப் படிகங்களின் அமைப்பைக் கொண்டிருக்கும் பொருட்களை நாம் மிக அரிதாகவே இயற்கையில் காண்கிறேம் என்பது தான் இதன் காரணமாகும். ஒரு மில்லிமீட்டரில் ஆயிரத்தில் ஒரு பகுதியைவிட அளவில் மிகச் சிறியதான படிகத் துகள் களால் உறுதியாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கிற அமைப்பிலேயே பொருட்களை நாம் பொதுவாகக் காண்கிறேம். இத்தகைய தொரு இயல்பமைப்பை நுண்ணேக்கியின் மூலமாக மட்டும் தான் பார்க்க முடிகிறது.

நுண்ணிய படிகத் துகள்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் பொருட்கள் பல்வகைப் படிகப் (polycrystalline) (பல என்ற அர்த்தம் கொண்ட ''பாலிஸ்'' என்னும் கிரேக்க வார்த்தையில் இருந்த தருவிக்கப்பட்டது) பொருட்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன.

உண்மையில் படிகங்களுடன் பல்வகைப் படிகப் பொருட் களும் சேர்க்கப்படல் வேண்டும். அப்படியாஞல், நம்மைச் சூழ்ந்திருக்கும் திடப்பொருட்களில் பெரும்பாலானவை படி கங்களாகத் தோன்றுகின்றன. மணல், கருங்கல், தாமிரம், இரும்பு, மருந்துக் கடையில் விற்கப்படும் சலோல் (salol), சாயம் முதலியவை அனைத்துமே படிகங்களாகும்.

இவற்றில் விதிவிலக்குகளும் இருக்கின்றன. கண்ணுடி, பிளாஸ்டிக் ஆகியவை படிகங்களால் ஆக்கப்பட்டவை அல்ல. இத்தகைய திடப்பொருட்கள், மணி உருவற்றவை (amorphous) என அழைக்கப்படுகின்றன.

ஆகவே படிக்ங்களைப் பற்றி ஆராய்வது என்பது நம் மைச் சூழ்ந்துள்ள பொருட்களில் பெரும்பாலானவற்றைப்

பற்றி ஆராய்தல் என்ற பொருளைக் கொண்டிருக்கிறது. இது மிகவும் முக்கியமானது என்பது வெளிப்படையாகத் தெரியவருகிறது.

ஒற்றைப் படிகங்கள் அவற்றில் அமைப்புகளின் ஒழுங்கிலிருந்தும் உடனடியாக அடையாளங்கண்டு கொள்ளப்படுகின்றன. சமதளமான பக்கங்களும் கூர்மையான நேர் விளிம்புகளும் படிகங்களின் இயல்பான பண்புகளாகும். அமைப்பின் ஒழுங்கு சந்தேகத்துக்கிடமின்றிப் படிகத்தின் உள்ளார்ந்த இயல்பமைப்புடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது. படிகம் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் பிரத்யேகமாக நீட்சியடைந்தால் இத் திசையில் படிகத்தின் இயல்பமைப்பும் ஏதோ ஒரு வகையில் தனிச் சிறப்புடையதாக இருக்கும் என்பது பொருளாகும்.

இயந்திரத்தின் உதவியால் பெரிய படிகத்திலிருந்தும் பந்து செய்யப்பட்டதாகக் கற்பனை செய்யவும். இப்பந்தைக் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட பந்திலிருந்து வேறுபடுத்திக் காட்டி நம் கையில் படிகம் இருக்கிறது என்பதைக் கண்டுபிடிப்பதில் நாம் வெற்றியடைய முடியுமா? படிகம் வெவ்வேறு திசைகளில் வித்தியாசமான அமைப்பைக் கொண்டிருக்கிறது என்பதை அப்படிகத்தின் இயல்பான வடிவமே காட்டுகிறது. இவ்வேறுபாடு அமைப்பைப் பொறுத்தமட்டில் அமைந்திருந்தால், மற்ற பண்புகளைப் பொறுத்தமட்டிலும் இவ்வேறுபாடு நிலைத்திருத்தல் வேண்டும். படிகத்தின் பலம், அதன் மின்னியல் பண்புகள், அதன் வெப்பக் கடத்தல் ஆகிய பண்புகள் அனைத்தும் வெவ்வேறு திசைகளில் வித்தியாசமாக இருக்கலாம். படிகத்தின் இத்தனித் தன்மை, அதன் பண்புகளின் திசையொவ்வாத் (anisotropy) தன்மை என அழைக்கப்படுகிறது. வெவ்வேறு திசைகளில் பண்புகள் வேறுபட்டிருக்கின்றன என்பதே இதன் பொருளாகும்.

படிகங்கள் திசையொவ்வாப் பண்புடையவை. இதற்கு மாருக மணி உருவற்ற பொருட்கள், திரவங்கள், வாயுக்கள் ஆகியவை யாவும் திசையொப்புப் பண்பியல்புடையன வாயிருக்கின்றன, அதாவது இவை அனைத்தும் வெவ்வேறு திசைகளிலும் சர்வசமமான (சமம் என்னும் பொருளுடைய கிரேக்கச் சொல்லாகிய ஐசோஸ் (isos) என்பதிலிருந்தும்) பண்புகளைக் (திரும்புகிற என்ற அர்த்தமுடைய ட்ரோபோஸ் (tropos) என்ற கிரேக்கச் சொல்லிலிருந்து) கொண்டிருக்கின்றன.

படிகங்களினது பண்புகளின் திசையொவ்வாப் பண்பு தான், ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும் தன்மையுடைய வடிவமற்ற பருப்பொருளின் துண்டானது ஒரு படிகமா இல்லையா என்பதைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு உதவியாயிருக்கிறது.

படிகங்களின் இயல்பமைப்பு

படிகத்தின் வடிவம் ஏன் இவ்வளவு அழகாகவும் ஒழுங்காகவும் காட்சியளிக்கிறது? திறமை வாய்ந்த மெருகேற்றுபவர் அவருடைய கைத் திறனை இவற்றில் காட்டியிருப்பது போன்று, இதன் பக்கங்கள் வழவழப்பாகவும் மின்னும் தன்மையுடையனவாயும் இருக்கின்றன. படிகத்தின் வெவ்வேறு பகுதிகள் ஒவ்வொன்றும் திரும்பத் திரும்ப அமைந்து சமச்சீரான வடிவத்தை அமைக்கின்றன.

நாம் எழுப்பிய கேள்விக்கு ஒரே ஒரு பதில்தான் இருக்க முடியும்—வெளிப்புற அழகுக்கு உகந்த உள்ளார்ந்த ஒழுங்கு முறைமை அமைந்திருக்க வேண்டும். ஒரே அடிப்படைப் பாகங்கள் மீண்டும் மீண்டும் சேர்க்கப்படுவதிலைலேயே இவ்வொழுங்கு முறைமை ஏற்படுகிறது.

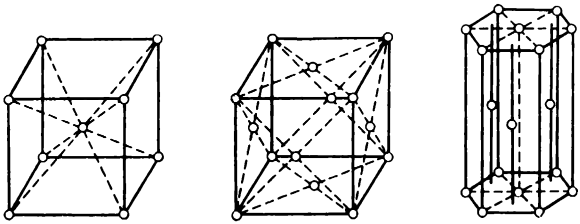
வெவ்வேறு நீளங்களைக் கொண்ட தாறுமாருகப் பரப்பப்பட்ட கம்பிகளால் அமைக்கப்படும் பூங்காவின் வேலி

யைக் கற்பனை செய்து பார்க்கவும். இது விரும்பத்தகாத காட்சியாகும். சர்வசமமாயிருக்கும் கம்பிகளைக் கொண்டு ஒன்றிலிருந்து ஒன்று சம தூரத்தில் இருக்கும்படியாக ஒழுங்கான வரிசைக் கிரமமாய்ப் பரப்பி, நல்ல வேலி அமைக்கப் படுகிறது. இவ்வாறு சுயமாக மீண்டும் மீண்டும் வரும் படத்தைச் சுவர் ஒட்டுத் தாளில் நாம் பார்க்கிறோம். இங்குப் பந்துடன் விளையாடிக் கொண்டிருக்கும் பெண்ணின் படத்தணுக்குப் பூங்காவின் வேலியைப் போன்று மீண்டும் மீண்டும் ஒரே திசையில் தளம் முழுவதும் அடைக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

ஆனால் சுவர் ஒட்டுத் தாள் அல்லது பூங்காவின் வேலி எந்த வகையில் படிகத்துடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது? இச் சம்பந்தம் நேரடியான ஒன்றாகும். பூங்கா வேலி ஒரே நேர்கோட்டின் மீது மீண்டும் மீண்டும் அமைந்திருக்கும் இணைப்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது; சுவர் ஒட்டுத் தாள், தளத்தின் மீது படங்கள் திரும்பத் திரும்ப வருமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. படிகமானது விசும்பில் அணுக்களின் தொகுதிகள் திரும்பத் திரும்ப வருமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆகவேதான் படிகத்தில் இருக்கும் அணுக்கள் ஒரு சூழ் (படிக) அணிக்கோவை (lattice) யை அமைக்கின்றன என நாம் கூறுகிறோம்.

இக்காலத்தில் பல நூற்றுக்கணக்கான படிகங்களின் இயல்பமைப்புகள் அறியப்பட்டிருக்கின்றன. மிக எளிய படிகங்களின் இயல்பமைப்புகளைப் பற்றி நாம் வாசகர்களுக்குக் கூறுவோம். முதன்முதலாக ஒரே வகையான அணுக்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் படிகங்களின் இயல்பமைப்புகளைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

மூன்று வகையான அணிக்கோவைகள் மிகப் பொதுவானவையாகும். அவை படம் 89ல் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. அணுக்களின் மையங்கள் புள்ளிகளால் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்



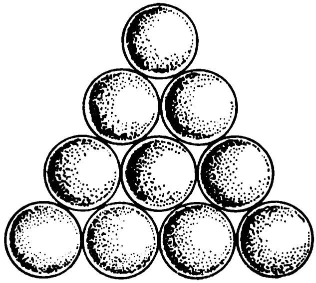
படம் 89 அ ஆ இ

றன. புள்ளிகளைச் சேர்க்கும் கோடுகள் உண்மையில் எந்த அர்த்தத்தையும் கொண்டிருக்கவில்லை. விசும்பில் அணுக்கள் பரப்பப்பட்டிருக்கும் முறையை வாசகர்களுக்குத் தெளிவாக்குவதற்காகத்தான் அவை வரையப்பட்டிருக்கின்றன.

படங்கள் 89 (அ), (ஆ) முதலியவை கன சதுர அணிக் கோவைகளை விவரிக்கின்றன. இவ்வணிக்கோவைகளை மிகத் தெளிவாக நம் மனக் கண் முன்னர் கொண்டு வர வேண்டுமானால், அமைப்புக் கற்களை, விளிம்புடன் விளிம்பு இணைந்து இருக்கும்படியாகவும் ஒரு பக்கத்தை நோக்கி மற்றொன்று இருக்கும்படியாகவும் எளிய முறையில் நாம் அடுக்கியிருப்பதாகக் கற்பனை செய்யவும்.

கொள்கை ரீதியாக, இப்பொழுது நாம் கன சதுரங்களின் மூலைகளிலும் மையங்களிலும் புள்ளிகளை வைத்தால், படம் 89 (அ)வில் விவரிக்கப்பட்டிருக்கும் கன சதுர அணிக் கோவை உண்டாகிறது. இத்தகைய இயல்பமைப்பு, உருவ மைய கன சதுர அணிக்கோவை (body centred cubic) என அழைக்கப்படுகிறது. கன சதுரங்களின் மூலைகளிலும் அவற்றின் பக்கங்களின் மையங்களிலும் புள்ளிகள் வைக்கப்பட்டால், படம் 86 (ஆ)வில் விவரிக்கப்பட்டிருக்கும் கன சதுர அணிக்கோவை தோன்றுகிறது. இது முகப்பு மைய கன சதுர அணிக்கோவை (face centred cubic) எனப்படும்.

மூன்ருவது அணிக்கோவை நெருக்கிப் பொறியப்பட்ட அறுகோண அணிக்கோவை (close packed hexagonal) (அறு கோணங்களைக் கொண்டிருக்கி றது) என அழைக்கப்படுகிறது. இச்சொற்ருெடரின் தோற்ற த்தை அறிந்து கொள்வதற் கும் இவ்வணிக்கோவையில் இடம் பெற்றிருக்கும்அணுக் களின் பரப்பீட்டை மனக் கண் முன்னர் அதிகத்தெளி வாகக் கொண்டு வருவதற்கும் சில பில்லியார்டு பந்துகளை எடுத்துக் கொண்டு கூடுமான வரை நெருக்கமாகப் பொ திய ஆரம்பிப்போம். முதலாவதாக நாம் நெருக்கமான அடுக்கை அமைப்போம். விளையாட்டுத் தொடங்குமுன்னர் ஒரு முக்கோணத்தினுள் அடுக்கப்பட்டிருக்கும் பில்லியார்டு பந்துகளைப் போன்று இது தோன்றுகிறது (படம் 90). முக் கோணத்தின் மையத்தில் அமைந்திருக்கும் பந்து அருகி லுள்ள ஆறு பந்துகளைத் தொட்டுக் கொண்டிருப்பதைக் கவனிக்கவும். இந்த ஆறு அண்டைப் பந்துகளும் அறுகோ ணத்தை அமைக்கின்றன. ஒரு அடுக்கின் மீது மற்ருெரு அடுக்கை அமைத்து, நாம் பொதியும் செயலைத் தொடர்கி ருேம். இரண்டாவது அடுக்கின் பந்துகளை முதல் அடுக்குப் பந்துகளுக்கு நேர் மேலே இருக்கும்படியாக அமைத்தால் இத்தகைய பொதியல் நெருக்கமாக இருக்காது. ஒரு குறிப் பிட்ட கன அளவினுள் கூடியவரை அதிகமான பந்துகளைப் பரப்ப முயற்சித்தால் முதல் அடுக்கில் ஏற்பட்டிருக்கும் இடைவெளிகளில் இரண்டாவது அடுக்குப் பந்துகள் இருக் குமாறும் இரண்டாவது அடுக்கில் தோன்றியிருக்கும் இடை



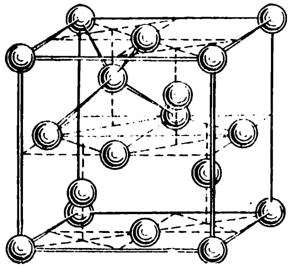
படம் 90

வெளிகளில் மூன்றுவது அடுக்குப் பந்துகள் இருக்குமாறும்... இவ்வாறாக நாம் அடுக்கிக் கொண்டே போக வேண்டும். நெருக்கிப் பொதியப்பட்ட அறுகோண அணிக்கோவையில் முதல் அடுக்குப் பந்துகளின் மையங்களுக்கு நேர் மேலே மூன்றுவது அடுக்குப் பந்துகளின் மையங்கள் இருக்கும்படியாக இப்பந்துகள் அடுக்கப்படுகின்றன.

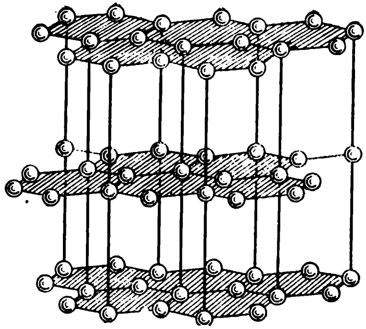
இங்கு விவரிக்கப்பட்ட முறையில் நெருக்கிப் பொதியப் பட்ட பந்துகளின் மையங்களைப் போன்றே நெருக்கிப் பொதியப்பட்ட அறுகோண அணிக்கோவையில் அணுக்களின் மையங்கள் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன.

மிக அதிக எண்ணிக்கையிலான தனிமங்கள் மேலே விவரிக்கப்பட்ட மூன்று வகையான அணிக்கோவைகளையுடைய படிகங்களாக அமைந்திருக்கின்றன. நெருக்கிப் பொதியப் பட்ட அறுகோண அணிக்கோவை: Be, Co, Hf, Ti, Zn, Zr. முகப்பு மையம் கொண்ட கன சதுர அணிக்கோவை: Al, Cu,, Co, Fe, Au, Ge, Ni, Ti உரு மையம் கொண்ட கன சதுர அணிக்கோவை: Cr, Fe, Li, Mo, Ta, Ti, U, V.

ஏனைய இயல்பமைப்புகளில் சிலவற்றை நாம் இங்குக் குறிப்பிடுவோம். வைரத்தின் இயல்பமைப்பு படம் 91ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. வைரத்தில் அமைந்திருக்கும் கார்பன் அணு நான்கு அண்டை அணுக்களைக் கொண்டிருப்பதுதான் இவ்வியல்பமைப்பின் சிறப்பு அம்சமாகும். இந்த எண்ணை நாம் சற்று முன்னர் விவரித்த மிகப் பொதுவான மூன்று வகை இயல்பமைப்புகளின் ஒத்த எண்ணிக்கைகளுடன் ஒப்பிடுவோம். நெருக்கிப் பொதியப்பட்ட அறுகோண அணிக்கோவையில் ஒவ்வொரு அணுவுக்கும் 12 அண்டை அணுக்கள் இருக்கின்றன; முகப்பு மையம் கொண்ட அணிக் கோவை அமைக்கும் அணுக்கள் ஒவ்வொன்றும் இதே எண் ணிக்கையிலான அண்டை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கின்றன: உரு மையம் கொண்ட அணிக்கோவையில் ஒவ்வொரு



படம் 91



படம் 92

அணுவும் 8 அண்டை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கின்றன என்னும் முடிவுகளைப் படங்களிலிருந்தும் நாம் தெரிந்து கொள்ள முடிகிறது.

படம் 92ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் இயல்பமைப்பைக் கொண்ட கிராபைட்டைப் பற்றி இங்குச் சில வார்த்தைகள் கூறுவோம். இவ்வியல்பமைப்பு கவனத்தைக் கவரும் ஒரு சிறப்பு அம்சத்தைக் கொண்டிருக்கிறது. கிராபைட்டு, அணுக்களின் அடுக்குகளைக் கொண்டிருக்கிறது: இங்கு அண்டை அடுக்குகளில் அமைந்திருக்கும் அணுக்களைக் காட்டிலும் ஒரே அடுக்கில் அமைந்திருக்கும் அணுக்கள் அதிக இறுகலாகக் கட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இது அணு விடைத் தூரங்களின் மதிப்புடன் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது. ஒரே அடுக்கில் அமைந்திருக்கும் இரு அண்டை அணுக்களுக்கிடையேயான தூரம், இரு அடுக்குகளுக்கிடையேயான மிகக் குறைந்த தூரத்தைவிட 2.5 மடங்குச் சிறியதாயிருக்கிறது.

தளர்வாகக் கட்டப்பட்டிருக்கும் அணு அடுக்குகள் அமைந்திருத்தல் கிராபைட்டு படிகங்கள் இவ்வடுக்குகளின்

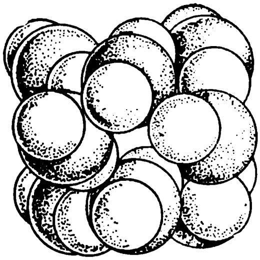
போக்கில் உடைவதை எளிதாக்குகிறது. இதனுல்தான் உயவு எண்ணெய்யை உபயோகப்படுத்துவது சாத்தியமாகாத சூழ் நிலைகளில்—உதாரணமாக, மிகவும் குறைந்த அல்லது மிக அதிக வெப்பநிலைகளில், திட நிலையில் இருக்கும் கிராபைட்டு உயவுப் பொருளாகப் பயன்படுகிறது. கிராபைட்டு—திட நிலையில் உள்ள உயவுப் பொருளாகும்.

பரு வெட்டாகக் கூறினுல், ஒரு பொருளின் நுண்ணியலான புடைப்புகள் மற்ருெரு பொருளில் அமைந்திருக்கும் இடை வெளிகளினுள் விழுந்துவிடுகின்றன என்ற உண்மையே இரு பொருட்களுக்கிடையேயான உராய்வில் குறைவு ஏற்படுவ தற்கு அடிப்படை காரணமாகும். உராய்வு விசைகளைக் காட்டிலும் நுண்ணியலான கிராபைட்டு படிகத்தை உடைப் பதற்குத் தேவையான விசை மிகச் சிறியதாயிருக்கிறது. ஆகவே கிராபைட்டு உயவு அமைக்கப்பட்டிருந்தால், ஒரு பொருள் மற்ருெரு பொருளின் மீது எளிதாக வழுக்கிச் செல்கிறது.

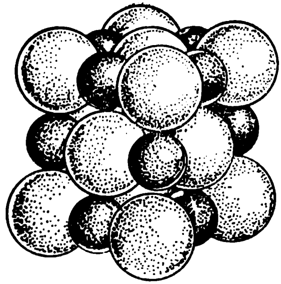
வேதியியல் கூட்டுப் பொருட்களின் படிகங்களின் இயல் பமைப்புகள் முடிவில்லாத பல வகைகளைக் கொண்டிருக்கின் றன. படங்கள் 93, 94ல் முறையே விவரிக்கப்பட்டிருக் கும் இந்துப்பு, கார்பன்—டையாக்ஸைடு (carbon dioxide) முதலியவற்றின் இயல்பமைப்புகள் எல்லை உதாரணங்களா கப் பயன்படுகின்றன.

இந்துப்பின் படிகங்கள் (படம் 93) கன சதுரத்தின் அச்சுக்களின் மீது அடுத்தடுத்து அமைக்கப்பட்டிருக்கும் சோடியம் அணுக்கள் (சிறிய கருத்த பந்துகள்), குளோரின் அணுக்கள் (பெரிய வெளுத்த பந்துகள்) ஆகியவற்ருலான அமைப்பைக் கொண்டிருக்கின்றன.

ஒவ்வொரு சோடியம் அணுவும் சமதூரங்களில் அமைந் திருக்கும் மற்ற வகையைச் சேர்ந்த ஆறு அண்டை அணுக் களைக் கொண்டிருக்கிறது. குளோரின் அணுவுக்கும் இச்



படம் 93



படம் 94

சூழ்நிலை உண்மையாயிருக்கிறது. அப்படியானுல் சோடியம் குளோரைடு மூலக்கூறுகள் எங்கே அமைந்திருக்கின்றன? அவை ஒன்றுகூட இல்லை. உப்புப் படிகங்களில் சோடியத்தின் தனி அணுக்கள் குளோரியின் தனி அணுக்கள் ஆகியவை தொகுதிகளாய் அமைந்திருக்கவில்லை. ஆனுல் பொதுவாக எவ்வகையைச் சேர்ந்ததாயினும், அணுக்களின் ஒரு அணுத் தொகுதியை அவற்றின் நெருக்கத்தினுல், மற்ற தொகுதிகளிலிருந்தும் வேறுபடுத்திக் காட்ட இயலாது.

''இப்பொருள் NaCl மூலக்கூறுகளால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது'' என்பதற்கு NaClன் வேதியியல் வாய்ப்பாடு எவ்வித ஆதாரத்தையும் நமக்குத் தருவதில்லை. சம எண்ணிக்கையிலான சோடியம், குளோர் முதலியவற்றின் அணுக்களால் பொருள் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது என்பதையே வேதியியல் வாய்ப்பாடு குறித்துக் காட்டுகிறது.

பொருளில் மூலக்கூறுகள் நிலைபெற்றிருப்பதைப் பற்றிய முடிவு அதன் இயல்பமைப்பால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. நெருக்கமாக அமைந்திருக்கும் அணுக்களின் தொகுதி எதையும் வேறுபடுத்திக் காட்ட முடியாமலிருந்தால், அப் பொருளில் மூலக்கூறுகள் அமைந்திருப்பதில்லை. மூலக்கூறு

களில்லாத படிகங்கள் ''அணுப் படிகங்கள்'' என அழைக்கப் படுகின்றன.

கார்பன்—டையாக்ஸைடு (CO_2) படிகம் (ஐஸ்கிரீம் சில்லில் இருக்கும் உலர் பனிக்கட்டி), மூலக்கூற்று படிகத்திற்கு எடுத்துக்காட்டாகும் (படம் (94).

ஒரு CO_2 மூலக்கூற்றில் அடங்கியிருக்கும் ஆக்ஸிஜன், கார்பன் முதலிய அணுக்களின் மையங்கள் நேர்கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கின்றன. C—O என்ற தூரம் 1.3 Å க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இரு அண்டை மூலக்கூறுகளில் அடங்கியிருக்கும் இரு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுக்கிடையேயான தூரம் கிட்டத்தட்ட 3 Å ஆக இருக்கிறது. இத்தகைய சூழ்நிலைகளில் படிகத்தின் மூலக்கூறுகள் அமைந்திருப்பதை நாம் உடனேயே அடையாளங்கண்டு கொள்கிறோம் என்பது தெரியவருகிறது.

மூலக்கூறுகளின் நெருக்கமான பொதியல்களே மூலக்கூற்றுப் படிகங்களாகும். இதை எடுத்துக் காட்ட வேண்டுமானால், மூலக்கூறுகளின் மட்ட இணைப்பு வரையை நாம் விவரிக்க வேண்டும். படம் 94 ல் சரியாக இதுதான் விவரிக்கப் பட்டிருக்கிறது.

பதினொன்று

வெப்பநிலை

வெப்பநிலைமானி

வெவ்வேறு நிலைகளுக்குச் சூடேற்றப்பட்ட இரு பொருட்கள், தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்படியாகச் செய்யப்பட்டால, அதிகச் சூடான பொருள் குளிர்ந்துவிடும்; குறைவாகச் சூடேற்றப்பட்ட பொருளின் வெப்பம் ஏறும். இப்படி இரு பொருட்கள் வெப்பத்தைப் பரிமாறிக் கொள்கின்றன; ஒருவர் மற்றொருவருக்கு நூறு ரூபாய் கொடுக்கிறார், அதை மற்றவர் பெற்றுக் கொள்கிறார்: நடைமுறையில் இதை நாம் பரிமாற்றம் என அழைப்ப தில்லை. ஆனால் இது இயற்பியலில் ஒப்புக் கொள்ளப்பட்ட துறைச் சொல்லாகும்.

நாம் ஏற்கனவே கூறியிருப்பது போன்று வெப்பப் பரி மாற்றம் ஒரு வகையான ஆற்றல் மாற்றீடாகும். ஆற்றலை வெளியிடும் பொருள் அதிக வெம்மையானது என்று அழைக் கப்படுகிறது. பொருள் நம் கைகளைச் சூடேற்றினால், அதா வது ஆற்றலைக் கைக்கு மாற்றீடு செய்தால், அப்பொருள் வெம்மையாயிருக்கிறது என்பதை நாம் உணர்கிறோம். இதற்கு மாறாக, பொருள் குளிர்ந்திருக்கிறது என உணரப் பட்டால், அது நம் உடலிலிருந்து ஆற்றலை எடுத்துக் கொண் டிருக்கிறது என்பது அர்த்தமாகும்.

வெப்பத்தை வெளியிடும் (வெப்பப் பரிமாற்றத்தின்

மூலம் ஆற்றலை வெளியிகிறது) பொருளைப் பொறுத்தமட்டில் இதன் வெப்பநிலை வெப்பத்தை உள்ளே ஏற்றுக் கொள்ளும் பொருளின் வெப்பநிலையைவிட அதிகமாயிருக்கிறது என நாம் கூறுகிறோம். நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கும் பொருள் மற்றொரு பொருளின் முன்னிலையில் குளிர்ச்சியடைகிறதா? அல்லது சூடேற்றப்படுகிறதா? என்பதைக் காண்பதிலிருந்துதான் வெம்மையான பொருட்களின் வரிசையில் இப்பொருளின் இடத்தை நாம் குறிப்பிடுகிறோம். நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கும் பொருள் எந்தெந்தப் பொருட்களுக்கு வெப்ப வழங்கியாகவும் எந்தெந்தப் பொருட்களுக்கு வெப்ப ஏற்பியாகவும் செயல்படுகிறது என்பதைக் குறித்துக் காட்டும் ஒரு வகையான குறியே வெப்பநிலையாகும்.

வெப்பநிலை, வெப்பநிலைமானிகளால் அளக்கப்படுகிறது. வெப்பநிலைமானிகளின் இயல்பமைப்பு வெப்பநிலையால் உணர்வு நுட்பம் பெறும் பொருட்களின் பலதரப்பட்ட பண்புகளின் உபயோகத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்க முடியும். வெப்பநிலை ஏற்றத்தின் போது ஏற்படும் பொருட்களின் விரிவுதான் பொதுவாக அடிக்கடி பயன்படுத்தப்படும் பண்பாகும்.

வெப்பநிலைமானியின் உடல் வெவ்வேறு பொருட்களைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, அதன் கன அளவை ஒவ்வொரு முறையும் மாற்றிக் கொண்டால், அப்பொருட்கள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளைக் கொள்கின்றன என்பதை இது குறிப்பால் உணர்த்துகிறது. வெப்பநிலைமானியின் உடலின் கன அளவு அதிகமானால், வெப்பநிலையும் அதிகமாயிருக்கிறது; கன அளவு குறைவாயிருந்தால், வெப்பநிலையும் குறைவாயிருக்கிறது.

வெப்பநிலைமானிப் பொருட்களாகப் பயன்படக்கூடிய பொருட்கள் பல இருக்கின்றன: பாதரசம் அல்லது ஆல்கஹால் போன்ற திரவங்கள், உலோகங்களைப் போன்ற திடப்

பொருட்கள், வாயுக்கள் ஆகியவை. ஆனால் வெவ்வேறு பொருட்கள் வெவ்வேறு அளவுகளில் விரிவடைகின்றன; ஆகவே பாதரச, ஆல்கஹால், வாயு மற்றும் ஏனைய டிகிரி அளவுகள் ஒன்றோடொன்று ஒன்றியிருப்பதில்லை. உண்மையில் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை, தண்ணீரின் கொதிநிலை ஆகிய இரண்டு அடிப்படை நிலைகளை எல்லா வெப்பநிலை மானிகளிலும் குறிக்க முடியும். ஆகவே எல்லா வெப்பநிலை மானிகளும் சென்டிகிரேடு அளவீட்டு முறையில் 0 மற்றும் 100 டிகிரிகளைச் சர்வசமமாகக் காட்டுகின்றன. ஆனால் 0 மற்றும் 100 டிகிரிகளுக்கிடையில் பொருட்கள் சர்வசமமாக விரிவடைவதில்லை. பாதரச வெப்பநிலைமானியின் 0 மற்றும் 50 டிகிரிகளுக்கிடையே பொருள் வேகமாக விரிவடைகிறது; 50 மற்றும் 100 டிகிரிகளுக்கிடையேயான இரண்டாவது இடை வெளியில் மெதுவாக விரிவடைகிறது; ஆனால் இதற்கு மாறுபட்ட முறையில் விரிவடையும் பொருட்களும் உள்ளன.

வித்தியாசமாக விரிவடையும் பொருட்களைக் கொண்டு வெப்பநிலைமானிகளை அமைத்த பின்னர், அடிப்படை நிலைகளில் எல்லா வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகளும் ஒன்றியிருந்தாலுங்கூட, பொதுவான நிலைகளில் அவற்றின் அளவீடுகளில் குறிக்கத்தக்க மாறுபாடுகள் இருப்பதை நாம் காண்கிறோம். மேலும் நீர் வெப்பநிலைமானி கீழ்வரும் கண்டுபிடிப்புக்கு நம்மை வழி நடத்திச் செல்கிறது: பூச்சியம் டிகிரிக்குக் குளிரச் செய்யப்பட்ட பொருள் மின்சார அடுப்பின் மேல் வைக்கப்பட்டால், அதன் ''நீர் வெப்பநிலை'' முதலில் இறங்கிப் பின் ஏறுகிறது. சூடேற்றப்படும் பொழுது, முதலில் தண்ணீர் அதன் கன அளவைக் குறைக்கிறது. பின்னர்தான் இயல்பாக நடந்து கொள்கிறது, அதாவது சூடேற்றப்படும் பொழுது அதன் கன அளவை அதிகரித்துக் கொள்கிறது.

வெப்பநிலைக்கான பொருளை மிக அவசரமாகத் தெரிவு செய்தால், அது நம்மை இக்கட்டான சூழ்நிலைக்கு வழிநடத்திச் செல்லும் என்பதை நாம் பார்க்கிறோம்.

நடைமுறை வெப்பநிலைமானியைத் தெரிவு செய்வதில் நாம் என்னென்ன முறைகளைப் பின்பற்ற வேண்டும்? இந் நோக்கத்தை நிறைவேற்றும் இலட்சிய பொருள் எது?

இத்தகைய இலட்சியப் பொருட்களைப் பற்றி நாம் ஏற்கனவே கூறியிருக்கிறோம். இவை இலட்சிய வாயுக்கள்தாம். இலட்சிய வாயுவின் துகள்களுக்கிடையே எவ்விதச் செயலெதிர்ச் செயல்களும் செயல்படுவதில்லை; இலட்சிய வாயு விரிவடைவதைப் பற்றி நாம் அறிந்து கொள்வது, அதன் மூலக்கூறுகளின் இயக்கங்கள் எவ்வாறு மாறுதலடைகின்றன என்பதைப் பற்றி நாம் அறிந்து கொள்வது என்பது பொருளாகும். இலட்சிய வாயு ஏன் இலட்சிய வெப்பநிலைமானிப் பொருளாக அமைந்திருக்கிறது என்பதற்கு இதுவே சரியான காரணமாகும்.

தண்ணீர் ஆல்கஹாலைப் போன்று விரிவடையாமலிருக்கும் பொழுது (ஆல்கஹால் கண்ணாடியைப் போன்று விரிவடைவதில்லை, கண்ணாடியே இரும்பைப் போன்று விரிவடைவதில்லை), ஹைடிரஜன், ஆக்ஸிஜன், நைட்ரஜன், அடர்த்தி குறைக்கப்பட்ட நிலையில் உள்ள வாயுக்கள் ஆகியவை சூடேற்றப்படும் பொழுது, ஒரே முறையில் விரிவடைந்து, இலட்சிய விரியுந்தன்மையுடையன என்று அழைப்பதற்கான தகுதியைப் பெற்றிருக்கின்றன என்பது உண்மையிலேயே நம் கருத்தைக் கவரும் உண்மையாகும்.

ஆகவே ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு இலட்சிய வாயு மேற்கொண்ட கன அளவு மாறுதலே இயற்பியலில் வெப்பநிலையை வரையறுப்பதற்கு அடிப்படையாக அமைகிறது. வாயுக்கள் அதிக இறுகுந்தன்மையுடையன என்ற உண்மையை நோக்கும் பொழுது, வாயு மாறுத அழுத்தத்தில்

இருக்கும்படி பார்த்துக் கொள்வதில் நாம் தனிக் கவனம் செலுத்த வேண்டியது அவசியமாகிறது.

வாயு வெப்பநிலைமானியை அலகிட வேண்டுமானுல், நாம் தெரிவு செய்த வாயுவின் கன அளவை 0° மற்றும் 100° ஆகிய வெப்பநிலைகளில் மிகத் துல்லியமாக அளக்க வேண்டும். V_{100} மற்றும் V_0 ஆகிய கன அளவுகளுக்கிடையேயான வித்தியாசத்தை 100 சம பாகங்களாகப் பிரிக்கிரேம். வேறுவிதமாகக் கூறினுல், வாயுவின் கன அளவு

$$\frac{V_{100}-V_0}{100}$$

யின் மூலம் மாறினுல், அது ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு (1°C)க்கு உகந்ததாய் இருக்கிறது.

நமது வெப்பநிலைமானி இப்பொழுது V என்ற கன அளவைக் காட்டுவதாக எடுத்துக் கோள்வோம். இக்கன அளவுக்கு உகந்த வெப்பநிலையாகிய t°C என்னவாயிருக்கும்?

$$t^{\circ}\mathrm{C}=\frac{V-V_0}{V_{100}-V_0}\cdot 100$$

என்பதைப் புரிந்து கொள்வதில் கடினம் எதுவும் இருக்காது, அதாவது

$$\frac{t^{\circ}\mathrm{C}}{100}=\frac{V-V_0}{V_{100}-V_0}.$$

இச்சமன்பாட்டின் மூலம் V என்ற ஒவ்வொரு கன அளவுக்கும் t என்னும் வெப்பநிலையைத் திட்டமாகக் குறித்து இயற்பியல் அறிஞர்கள் உபயோகப்படுத்தும் வெப்பநிலையின் அளவுகோளை* நாம் பெறுகிரேம்.

* பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையை 0°C ஆகவும் தண்ணீரின் கொதிநிலையை (இரண்டுமே 760 மி.மீ பாதரச அளவுள்ள இயல்பான அழுத்தத்தில்) 100°C ஆகவும் கொண்டிருக்கும் சென்டிகிரேடு அளவுகோல் மிகவும்

வெப்பநிலை ஏறும் பொழுது, வாயுவின் கன அளவு வரம்பின்றி அதிகரிக்கிறது; ஆகவே வெப்பநிலை ஏற்றத்துக்குக் கொள்கை ரீதியான வரம்பு எதுவும் இல்லை. இதற்கு மாறாக, தாழ் வெப்பநிலைகளுக்கு (சென்டிகிரேடு அளவுகோலில் எதிர்க்குறியீடுடையது) வரம்பு உண்டு.

வெப்பநிலை குறையும் பொழுது என்ன நிகழ்கிறது?

வசதியாக இருக்கிறது. இப்படியிருந்துங்கூட நம் அனைவருக்கும் பழக்கப்படாத, வெப்பநிலை அளவுகோலை ஆங்கிலேயர்களும் அமெரிக்கர்களும் இதுவரையிலும் உபயோகித்து வந்திருக்கின்றனர். உதாரணமாக, ஒரு ஆங்கில நாவலில் இருந்து எடுக்கப்பட்ட கீழ்வரும் வாக்கியத்தைப் பற்றி நாம் என்ன கருத்துக் கொள்வோம்: ''கோடை அதிக வெம்மையாக இல்லை; வெப்பநிலை 60—70 டிகிரிகளே!'' இது ஒரு வேளை அச்சுப் பிழையாயிருக்குமோ? இல்லை. பாரன்ஹீட் அளவீட்டு முறையில் (°F) குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

இங்கிலாந்தில் மிக அரிதாகத்தான் வெப்பநிலை —20°C க்குக் கீழே இறங்குகிறது. ஏறக்குறைய இவ்வெப்பநிலையைக் கொண்ட பனிக்கட்டியும் உப்பும் சேர்ந்த கலவையை பாரன்ஹீட் தெரிவு செய்து, இதையே அவருடைய பூச்சிய அளவாக எடுத்துக் கொண்டார். இதைக் கண்டுபிடித்தவரின் கூற்றுப்படி இந்த அளவு முறையில் மனித சரீரத்தின் இயல்பான வெப்பநிலை 100° ஆக எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டது. இருப்பினும், இவ்வரையை வரையறுப்பதற்குச் சிறிது காய்ச்சலற்ற ஒருவரைப் பாரன்ஹீட் உபயோகத்திருக்கக் கூடும். பாரன்ஹீட் என அளவு முறையில் மனித சரீரத்தின் சராசரி இயல்பான வெப்பநிலை 98°F ஆகும். இந்த அளவு முறையில் தண்ணீர் 32°F என்ற வெப்பநிலையில் உறைகிறது. 212°Fல் கொதிக்கிறது. சென்டிகிரேடு அளவு முறைக்கும் பாரன்ஹீட் அளவு முறைக்கும் இடையேயான மாற்றல் சூத்திரம் கீழ்வருமாறு அமைந்திருக்ககிறது:

$$t^\circ\mathrm{C} = \frac{5}{9}(t - 32)^\circ\mathrm{F}.$$

இதன் விளைவாக உண்மையான வாயு திரவமாக மாறும். இதற்கும் அதிகமாக வெப்பநிலை குறைந்தால், அது திடப் பொருளாக மாறும். வாயு மூலக்கூறுகள் சிறிய கன அளவினுள் ஒன்று சேருகின்றன. இலட்சிய வாயு அடைக்கப்பட்டிருக்கும் வெப்பநிலைமானியைப் பொறுத்தமட்டில் இக்கன அளவின் மதிப்பு என்னவாயிருக்கும்? இதன் மூலக்கூறுகள் ஒன்றோடொன்று செயலெதிர்ச் செயல் கொண்டிருக்கவில்லை. மேலும் அவற்றிற்குச் சொந்தமான கன அளவும் இல்லை. ஆகவே வெப்பநிலை குறையும் பொழுது, இலட்சிய வாயு பூச்சிய கன அளவுக்குக் கொண்டு வரப்படுகிறது. செயல் முறையில் நாம் விரும்பும் அளவுக்கு இலட்சிய வாயுவின் பண்பியலான நடத்தைக்கு, உதாரணமாகப் பூச்சிய கன அளவுக்கு, நெருங்கிச் செல்லுதல் சாத்தியமாகிறது. இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானால், வெப்பநிலைமாயியை மேன்மேலும் அடர்த்தி குறைக்கப்பட்ட வாயுவால் நிறப்ப வேண்டியது அவசியமாகிறது. ஆகவே வாயுவின் சிறும கன அளவு பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது எனத் தற்கோள் கொள்ளுவதால் நாம் எவ்விதத் தவறும் இழைக்க மாட்டோம்.

நம் சூத்திரத்தின்படி, சாத்தியமாகும் குறைந்த அளவு வெப்பநிலை பூச்சிய கன அளவுக்கு உகந்ததாய இருக்கிறது. இவ்வெப்பநிலையே வெப்பநிலையின் மெய்ச்சுழி (absoluse zero) என அழைக்கப்படுகிறது.

சென்டிகிரேடு அளவீட்டு முறையில் மெய்ச்சுழியைக் குறிக்க வேண்டுமானால், நாம் சற்று முன்னர் தருவித்த வெப்பநிலைச் சூத்திரத்தில் கன அளவுக்குப் பதிலாகப் பூச்சியத்தை மாற்றீடு ($V=0$) செய்ய வேண்டும். இதன் விளைவாக மெய்ச்சுழியின் வெப்பநிலை

$$-100 \times V_0/(V_{100} - V_0)$$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

இக்குறிப்பிடத்தக்க நிலை கிட்டத்தட்ட $-273°C$

க்குச் (மிகத் துல்லியமாக—$273.15°C$) சமமாயிருப்பதாகத் தோன்றுகிறது.

இவ்வாறு மெய்ச்சுழிக்குக் கீழே வெப்பநிலைகள் எதுவும் இல்லை; ஏனெனில் இவை வாயுவின் எதிர்க்குறியீடு கொண்ட கன அளவுக்கு உகந்ததாய் இருக்கும். இதைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலைகளை பற்றிப் பேசுதல் அர்த்தமற்றதாகும். பூச்சியத்துக்கும் குறைவாயிருக்கும் விட்டத்தைக் கொண்ட கம்பியைத் தயாரிப்பது எவ்வாறு சாத்தியமானதாக இல்லையோ, அவ்வாறே, மெய்ச்சுழிக்குக் குறைவான வெப்பநிலையை அடைவதும் சாத்தியமானதல்ல.

மெய்ச்சுழியிலிருக்கும் பொருளைக் குளிரச் செய்வது சாத்தியமானதல்ல. அதாவது இப்பொருளிலிருந்து நாம் ஆற்றலை வெளியில் எடுக்க முடியாது. வேறுவிதமாகக் கூறினால், பொருட்களும் அவற்றில் அடங்கியிருக்கும் துகள்களும் மெய்ச்சுழியில் சிறும ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கின்றன. மெயச்சுழியில் இயக்க ஆற்றல் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. நிலையாற்றல் சாத்தியமாகும் சிறும மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிறது என்பதை இது குறிப்பாகக் கூறுகிறது.

மெய்ச்சுழி சிறும அளவு வெப்பநிலையாகையால் இயற்பியலில், அதிலும் சிறப்பாக, தாழ் வெப்பநிலைகள் முக்கிய பங்கேற்கும் பிரிவுகளில் மெய்ச்சுழியிலிருந்து தொடங்கும் குறியீடுகளைக் கொண்ட மெய் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையை உபயோகித்தலே இயல்பானதாகும்.

$$T_{\text{மெய்}} = (t + 273)°C$$

என்ற சமன்பாடு தெளிவாகப் புரிந்து கொள்ளக்கூடியதாக இருக்கிறது. எல்லோராலும் நன்கு அறியப்பட்டிருக்கும் 19ம் நூற்றுண்டைச் சேர்ந்த ஒரு ஆங்கிலேய அறிவியல் அறிஞரைக் கௌரவிக்கும் வகையில் மெய் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை, கெல்வின் அளவீட்டு முறை என

வும் அழைக்கப்படுகிறது. $T_{மெய்}$ என்னுமிடத்தில் T°K என்ற குறியீடும் உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது.

மெய் வெப்பநிலையை வரையறுக்கும் வாயு வெப்பநிலை மானிக்கான சூத்திரம் கீழ்வரும் வடிவத்தில் எழுதப்படுகிறது:

$$T = 100 \times \frac{V - V_0}{V_{100} - V_0} + 273.$$

$$100\, V_0/(V_{100} - V_0) = 273$$

என்ற சமன்பாட்டை உபயோகித்து நாம் கீழ்வரும் எளிய முடிவைப் பெறுகிறோம்:

$$\frac{T}{273} = \frac{V}{V_0},$$

ஆகவே மெய் வெப்பநிலை இலட்சிய வாயுவின் கன அளவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

வெப்பநிலையின் மிகத் துல்லியமான அளவீட்டுக்கு இயற்பியல் அறிஞரிடம் எல்லா வகையான தந்திரங்களும் சேர்ந்திருக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. பாதரசம், ஆல்கஹால் (ஆர்க்டிக் பகுதிகளுக்காக) மற்றும் ஏனைய வெப்பநிலைமானிகளும் பரந்த வெப்பநிலை இடைவெளியில் வாயு வெப்பமானியுடன் ஒப்பிட்டு அலகிடப்பட்டிருக்கின்றன. ஆயினும், எல்லா வாயுக்களும் திரவ நிலையை அடையும் மெய்ச்சுழிக்கு மிக அருகிலும் (0.7°Kக்குக் கீழே) வாயுக்கள் கண்ணாடியை ஊடுருவிச் செல்லும் 600°C வெப்பநிலைக்கு மேலேயும் இதுவும் கூட ஏற்றதாக இல்லை.

மிக உயர்ந்த மற்றும் குறைந்த வெப்பநிலைகளை அளப்பதற்கு வெப்பநிலை அளவீட்டின் ஏனைய தத்துவங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

வெப்பநிலையை அளவிடும் செயல்முறைகள் பலதரப் பட்டவை. மின்சாரவியல் இயற்பாடுகளின் அடிப்படையில் அமைந்த கருவிகள் மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை யாகும். எல்லா வெப்பநிலை அளவீடுகளின் போதும் கிடைக்க பட்ட முடிவு, அடர்த்தி குறைக்கப்பட்ட வாயு விரிதலின் அளவீடு கொடுக்கும் முடிவுடன் முற்றிலும் ஒன்றியிருக்கி றதா என்பதை நாம் உறுதி செய்ய வேண்டும் என்ற ஒன்றை மட்டும் நாம் ஞாபகத்தில் வைத்திருக்க வேண்டி யது மிக முக்கியமானதாகும்.

அடுப்புகள், உலைகள், எரிப்பான்கள் (burners) ஆகி யவற்றில் உயர் வெப்பநிலைகள் தோன்றுகின்றன. ரொட்டி தயாரிக்கும் அடுப்புகளில் 220—280°C அளவுள்ள வெப் பநிலைகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. உலோகத் தொழில் கலை யியலில் உயர் வெப்பநிலைகள் உபயோகப்படுத்தப்படுகின் றன: அழுத்தும் அடுப்புகள் 900—1000°C அளவு வெப்ப நிலையையும் கொல்லனின் துருத்திகளாலான உலைக்களம் 1400—1500°C அளவு வெப்பநிலையையும் கொடுக்கின்றன. இரும்பு உலைகளில் 2000°C அளவுள்ள வெப்பநிலை உண் டாக்கப்படுகிறது.

உலைகளில் உண்டாக்கப்படும் உயர் வெப்பநிலைகளின் உயர்மட்ட அளவு மின்சார விற்களின் உதவியால் பெறப் படுகின்றன (கிட்டத்தட்ட 5000°C). வில்லின் சுவாலையால் உருக்க முடியாத உலோகங்களைக் கையாளுவது சாத்தியமா கிறது.

வாயு எரிப்பானின் சுவாலையில் வெப்பநிலை என்னவாயி ருக்கும்? சுவாலையின் உட்புறத்தில் அமைந்திருக்கும் நீல நிற கூம்பு வடிவப் பகுதியில் வெப்பநிலை 300°C ஆக மட்டுமே இருக்கிறது. வெளிப்புற கூம்புப் பகுதியில் வெப்பநிலை 1800°Cஐ எட்டுகிறது.

அணுகுண்டு வெடிக்கும் பொழுது, ஒப்பிட முடியாத

அளவுக்கு மிக உயர்ந்த வெப்பநிலை உண்டாகிறது. ஒரு மறைமுக மதிப்பீட்டின்படி வெடிப்பு மையம் பல மில்லியன் டிகிரிகள் அளவுள்ள வெப்பநிலையை அடைகிறது.

இத்தகைய மீள் உயர் வெப்பநிலைகளை அடைவதற்குச் சோவியத் கூட்டமைப்பு மற்றும் ஏனைய நாடுகளில் அமைக்கப்பட்டிருக்கும் பிரத்யேக ஆய்வக அமைப்புகளில் (ஒக்ரா, சீட்டா) சமீப காலத்தில் முயற்சிகள் செய்யப்பட்டன.

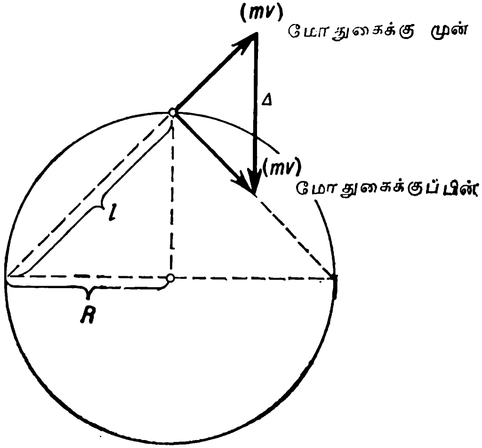
மிகக் குறுகிய கால அளவு மட்டுமே நிலைபெற்றிருக்கும் சில மில்லியன் டிகிரிகள் அளவுள்ள வெப்பநிலையை எட்டுவது சாத்தியமாகிறது என்பது நிரூபிக்கப்பட்டது.

இயற்கையிலேயே மீள் உயர் வெபபநிலைகள் அமைந்திருக்கின்றன; ஆனால் பூமியில் அல்ல. பிரபஞ்சத்தின் ஏனைய பொருட்களில்தான் விண்மீன்களின் மையங்களில் குறிப்பாகச் சூரியனின் மையத்தில் வெப்பநிலை சில பத்து மில்லியன் டிகிரிகள் என்னும் அளவை எட்டுகிறது.

ஆனால் விண்மீன்களின் மேற்பரப்புகள் 20.000°Cஐ மிஞ்சாத குறைந்த வெப்பநிலையையே கொண்டிருக்கின்றன. சூரியனின் மேற்பரப்பு 6000°C வரை சூடேறியிருக்கிறது.

இலட்சிய வாயுக் கொள்கை

வெப்பநிலையின் வரையறுப்பை நமக்கு அளித்திருக்கும் இலட்சிய வாயுவின் பண்புகள் மிக எளியனவாயிருக்கின்றன. மாறாத வெப்பநிலையில் பாய்லின் விதி செல்லும்படியாகிறது: கன அளவு அல்லது அழுத்தத்தின் மாற்றங்களின் போது, pV என்ற பெருக்குத்தொகை மாறாமலிருக்கிறது. அழுத்தம் மாறாமலிருக்கும் பொழுது, கன அளவு அல்லது வெப்பநிலை எவ்வகையில் மாறினாலும், $\frac{V}{T}$ என்ற ஈவு மாறாமல் பாதுகாக்கப்படுகிறது. இவ்விரு விதிகளையும்



படம் 95

சேர்த்துக் கூறுவது எளிதாயிருக்கிறது: வெப்பநிலை மாருமலிருந்து Vயும் pயும் மாறினுல், அல்லது அழுத்தம் மாருமலிருந்து Vயும் Tயும் மாறினுலும், $\frac{pV}{T}$ என்ற எண்ணுருக்கோவை மாருமலிருக்கிறது என்பது தெரியவருகிறது. p, V, மற்றும் T ஆகிய மூன்று கணியங்களில் ஏதேனும் ஒரு சதை மட்டுமின்றி மூன்றுமே ஒரே நேரத்தில் மாறினுலும், $\frac{pV}{T}$ என்னும் எண்ணுருக்கோவை மாருமலிருக்கிறது.

$$\frac{pV}{T} = \text{மாறிலி}$$

என்னும் விதி இலட்சிய வாயுவின் நிலைச் சமன்பாடு என்று அறியப்பட்டிருக்கிறது.

இலட்சிய வாயுவின் பண்புகள் அதன் மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்தை மட்டுமே சார்ந்திருப்பதாலேயே (செயலெதிர் செயல்களைச் சார்ந்ததல்ல), இது வெப்பநிலைமானிப் பொருளாகத் தேர்ந்தெருக்கப்பட்டிருக்கிறது.

மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்துக்கும் வெப்பநிலைக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் தொடர்பின் தன்மை என்ன? இக்கேள்விக்குப் பதிலளிக்க வேண்டுமானால், வாயுவின் அழுத்தத்துக்கும் அதில் அடங்கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்துக்கும் இடையேயான தொடர்பை அறிய வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. R என்று ஆரத்தைக் கொண்ட கோள வடிவப் பாத்திரத்தில் N எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் அடங்கியிருக்கின்றன (படம் 95). ஏதாவது ஒரு மூலக்கூற்றை உதாரணமாக ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் l என்னும் நீளமுடைய நாணின் மீது இடமிருந்து வலமாகச் சென்று கோண்டிருக்கும் மூலக்கூற்றின் மீது நாம் கவனம் செலுத்துவோம். மூலக்கூறுகளுக்கிடையயான மோதல்களை நாம் கவனியாது விட்டுவிடுவோம்; இத்தகைய மோதல்கள் வாயுவின் அழுத்தத்தைப் பாதிப்பதில்லை. மூலக்கூறு பாத்திரத்தின் சுவர் வரையிலும் வேகமாகச் சென்று சுவருக்கு எதிராகத் தட்டுகிறது. பின்னர் அதே வேகத்துடன் ஏதாவது ஒரு திசையில் பறந்து செல்கிறது (நெகிழ்வு மோதலாகும்). இலட்சிய ரீதியாகப் பாத்திரத்தினுள் நடைபெறும் இத்தகைய பயணம் முடிவின்றித் தொடர்கிறது. மூலக்கூற்றின் திசைவேகம் v என்றிருந்தால், ஒவ்வொரு $\frac{l}{v}$ வினாடிகளுக்குப் பின்னரும் மோதல் நிகழ்கிறது; அதாவது ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் ஒரு வினாடியில் $\frac{v}{l}$ தடவைகள் சுவரில் மோதுகிறது. N எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறுகளின் தொடர்ச்சியாக ஒரு முனைப்படுத்தப்பட்ட மோதல்கள் அழுத்தத்தின் ஒரே விசையாகச் சேர்ந்து கொள்கின்றன.

நியூட்டனின் விதிப்படி விசை என்பது ஒரு வினாடி நேரத்தில் ஏற்படும் உந்த (momentum) மாறுதலுக்குச் சமமாகும். ஒவ்வொரு மோதுகையின் போதும் ஏற்படும் உந்த

மாறுதலை Δ என நாம் குறித்துக் கொள்வோம். இம்மாறு தல் ஒரு விநாடியில் $\frac{v}{l}$ தடவைகள் நிகழ்கின்றன. இதன் விளைவாக ஒரு தனி மூலக்கூறு, விசைக்குக் கொடுக்கும் பங்கு $\frac{\Delta v}{l}$ ஆகும்.

மோதுகைக்கு முன்னரும் பின்னரும் அமைந்திருக்கும் உந் தத் திசையுளிகள் உந்த மாற்றமாகிய Δ ஆகியவை படம் 95ல் அமைக்கப்படிருக்கின்றன. இவ்வமைப்பினுல் தோன்றுகிற முக்கோணங்களின் வடிவொத்தப் பண்பிலிருந்து

$$\frac{\Delta}{l}=\frac{mv}{R}$$

என்பது தெரியவருகிறது. ஒரு தனி மூலக்கூறு விசைக்கு அளிக்கும் பங்கு கீழ்வரும் வடிவத்தைப் பெறுகிறது: $\frac{mv^2}{R}$.

இச்சூத்திரத்தில் நாணின் நீளம் இடம் பெருமலிருப் பதால், வெவ்வேறு நாண்களின் மீதும் இயங்கிக் கொண்டி ருக்கிற மூலக்கூறுகள் விசைக்குச் சர்வசமமான பங்கையே அளிக்கின்றன. சாய் மோதுகையின் போது, உந்த மாறு தல் குறைவாக இருக்கும் என்பது உண்மைதான். அனுல் இத்தகைய மோதுகைகள் மிகவும் அடிக்கடி நிகழ்கின்றன. இவ்விரு விளைவுகளும் சரியாக ஒன்றையொன்று சரியீடு செய்கின்றன என்பதைக் கணக்கீடுகள் நிரூபிக்கின்றன.

கோளத்தில் அடங்கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண் ணிக்கை N என்றிருப்பதால், தொகுபயன் விசை

$$\frac{Nmv^2_{\text{சராசரி}}}{R} \text{ க்குச்}$$

சமமாயிருக்கிறது. இதில் $v_{\text{சராசரி}}$ என்பது சராசரி மூலக் கூற்றுத் திசைவேகமாகும்.

விசையைக் கோளத்தின் பறப்பரப்பளவாகிய $4\pi R^2$

ஆல் வகுத்து வந்த முடிவுக்குச் சமமாயிருக்கும் வாயுவின் அழுத்தமாகிய p,

$$p=\frac{Nmv^2_{சராசரி}}{4\pi R^2\cdot R}=\frac{\frac{1}{3}Nmv^2_{சராசரி}}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{Nmv^2_{சராசரி}}{3V} \text{க்கு}$$

சமமாயிருக்கிறது. இதில் V என்பது கோளத்தின் கன அளவாகும். ஆகவே

$$pV=\frac{1}{3}Nmv^2_{சராசரி}.$$

இச்சமன்பாடு 1738ம் ஆண்டில் டானியெல் பெர்னேலி* என்பவரால் முதன்முதலில் தருவிக்கப்பட்டது.

இலட்சிய வாயுவின் நிலைச்சமன்பாட்டிலிருந்து $pv=$ $=$மாறிலி$\times T$ என்பது தெரியவருகிறது. சற்று முன்னர் தருவிக்கப்பட்ட சமன்பாட்டிலிருந்து pv என்பது $V^2_{சராசரி}$ நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்பதை நாம் காண்கிறேம். ஆகவே

$$T\propto v^2_{சராசரி} \text{ அல்லது}$$

$$v_{சராசரி}\propto\sqrt{T},$$

அதாவது அலட்சிய வாயு மூலக்கூற்றின் சராசரி திசை வேகம் மெய் வெப்பநிலையின் இரு மடி மூலத்துக்கு (square root) நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

---

* பிறப்பால் ஸ்விஸ் நாட்டைச் சேர்ந்த டி. பெர்னேலி ருசியாவில் வாழ்ந்து வந்தார்; அங்கே தான் வேலையும் செய்தார். தூய பீட்டர்ஸ்பெர்க் அறிவியல் கழகத்தில் அவர் அங்கத்தினராயிருந்தார். ஜோகன் (ஜீன்) பெர்னேலி மற்றும் ஜாகோப் (ஜாகூஸ்) பெர்னேலி ஆகியவர்கள் ஆற்றிய பங்குகளும் இதனைக் காட்டிலும் குறைவாக அறியப்பட்டது அல்ல. பெயர்களில் ஒற்றுமை இருப்பது மட்டுமின்றி அவர்கள் மூலருமே சகோதரர்களாவர்கள்.

அவாகாட்ரோவின் விதி

ஒரு பொருள் வெவ்வேறு மூலக்கூறுகளாலான கலவையாயிருக்கிறது என நாம் தற்கோள் கொள்வோம். இவற்றின் வெப்பநிலைகள் சர்வசமமாயிருக்கும் பொழுது, இம்மூலக்கூறுகள், உதாரணமாக ஹைடிரஜன், ஆக்ஸிஜன் ஆகியவற்றின் இயக்கத்தை விவரிக்கும் பொதுவான இயற்பியல் கணியம் ஒன்று இருக்க வேண்டும் அல்லவா?

இயந்திரவியல் இக்கேள்விக்கான பதிலைத் தருகிறது. நேர்ப் பெயர்ச்சி இயக்கத்தின் சராசரி இயக்க ஆற்றலாகிய

$$\frac{mv^2_{\text{சராசரி}}}{2}$$

எல்லா மூலக்கூறுகளுக்கும் சர்வசமமாகவே இருக்கும் என்பதை நிரூபிக்க முடியும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் மூலக்கூற்றுத் திசைவேகங்களின் சராசரி இரு மடியானது துகள்களின் பொருண்மைக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்பதை இது குறிப்பால் உணர்த்துகிறது. அல்லது

$$V_{\text{சராசரி}} \propto \frac{1}{\sqrt{m}}.$$

$$pV = \frac{1}{3} Nmv^2_{\text{சராசரி}}$$

என்ற சமன்பாட்டின் மீது நம் கவனத்தைத் திருப்புவோம். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் $mv^2_{\text{சரா}}$ என்ற கணியம் எல்லா வாயுக்களுக்கும் சர்வசமமாக இருப்பதால், ஒரு திட்டமான அழுத்தத்திலும் வெப்பநிலையிலும் இருக்கும் (p, T) ஒரு குறிப்பிட்ட கன அளவில் அடங்கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையாகிய N எல்லா வாயுக்க

ளுக்கும் சர்வசமமாயிருக்கிறது. கருத்தைக் கவரும் இவ் விதி முதன்முதலாக அவாகாட்ரோவினுல் வாய்ப்பாடு வடி வில் அறிவிக்கப்பட்டது.

ஆனுல் ஒரு கன சென்டிமீட்டரில் எத்தனை மூலக்கூறு கள் இருக்கின்றன? 0°C வெப்பநிலையில் 760 மி.மீ பாதரச அளவுள்ள அழுத்தத்தில் ஒரு கன சென்டிமீட்டரில் 2.7×10^{19} மூலக்கூறுகள் இருப்பதாகத் தெரியவருகி றது. இது மிகப் பெரிய எண்ணுகும். இது எவ்வளவு பெரியது என்பதை உணர்வதற்காக நாம் இங்கு ஒரு உதாரணத்தைத் தருகிறேம். 1 செ.மீ³ கன அளவுள்ள பாத்திரத்திலிருந்து ஒவ்வொரு விஞடியிலும் 1 மில்லியன் மூலக்கூறுகள் வெளியேறும் அளவுக்கான வேகத்துடன் வாயு வெளியே பாய்ந்து கொண்டிருக்கிறது என வைத்துக் கொள்வோம். இப்பாத்திரத்திலிருந்து வாயு முற்றிலும் அகற்றப்படுவதற்கு ஒரு மில்லியன் வருடங்கள் பிடிக்கும் என்பதைக் கணக்கிடுவது கடினமல்ல!

ஒரு திட்டமான அழுத்தத்திலும் வெப்பநிலையிலும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்கும் அவை அடைபட்டிருக் கும் கன அளவுக்கும் இடையேயான விகிதமாகிய $\frac{N}{V}$ எல்லா வாயுக்களுக்கும் சர்வமமான மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும் கணியமாயிருக்கிறது என்பதை அவாகாட்ரோவின் விதி காட்டுகிறது.

வாயுவின் அடர்த்தியாகிய

$$\rho = \frac{Nm}{V}$$

என்று இருப்பதால், வாயுக்களின் அடர்த்திகளின் விகிதம் அவற்றின் மூலக்கூற்றுப் பருமங்களின் (moleculer masses) விகிதத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1}{m_2}.$$

ஆகவே வாயும் பொருட்களை எளிதாக எடை காண்பதன் மூலம் மூலக்கூறுகளின் சார்பு எடைகள் கண்டுபிடிக்கின்றன.

ஒரு காலத்தில் இத்தகைய அளவீடுகள் வேதியியல் வளர்ச்சியில் பெரும் பங்கெடுத்துக் கொண்டன. இப்பொழுதும் கூடப் புதிதாகத் தொகுக்கப்பட்ட பொருளின் மூலக்கூற்றுப் பருமத்தைக் கண்டுபிடிக்கும் பொழுது, இவை முக்கியப் பங்காற்றுகின்றன. பொருளை வாயு நிலைக்கு மாற்ற வேண்டியது (அதைச் சேதப்படுத்தாமல்) மட்டுமே அவசியமாயிருக்கிறது. காற்று பல வாயுக்களாலான கலவையாகும். இதன் அடர்த்தியை ஏனைய வாயுக்களின் அடர்த்திகளோடு ஒப்பிட வேண்டுமானால், காற்றின் சராசரி மூலக்கூற்றுப் பருமத்தை உபயோகப்படுத்துதல் வசதியாயிருக்கிறது. காற்றின் சராசரி மூலக்கூற்றுப் பருமம் 28.8க்குச் சமமாயிருப்பதாகத் தெரியவருகிறது. இம்மதிப்பைத் தெரிந்து கொண்டு, காற்றுக்குச் சார்பாக வெவ்வேறு வாயுக்களின் அடர்த்திகளைக் கண்டுபிடிப்பது எளிதாயிருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக, 18ஐ மூலக்கூற்றுப் பருமமாகக் கொண்டிருக்கும் நீராவி, காற்றுக்குச் சார்பாக $18/28.8=0.62$ என்ற அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கிறது.

மூலக்கூற்றுத் திசைவேகங்கள்

வெப்பநிலை மாறுமலிருக்கும் பொழுது, மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்கள் $\frac{mv^2_{\text{சரா}}}{2}$ எல்லா மூலக்கூறுகளுக்கும் சர்வசமமாயிருக்கின்றன. வெப்பநிலையைப் பற்றிய நமது வரையறையின்படி ஒரு வாயுவின் மூலக்கூறுகளின் நேர்ப் பெயர்ச்சி இயக்கத்தின் இந்தச் சராசரி இயக்க ஆற்றல் மெய் வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்திலிருகிறது. இம்

முக்கியமான விதி, சமன்பாட்டு வடிவத்தில் கீழ்வருமாறு எழுதப்படலாம்:

$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\text{சராசரி}} = 2.1 \times 10^{-16}\, T,$$

இங்கு ஆற்றல் எர்க் என்னும் அலகுகளில் அளக்கப்படுகிறது.

வெப்ப இயக்கத்தின் செறிவு பற்றிய ஒரு வகையான அளவே வெப்பநிலை எனப்படுகிறது என்பதை நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருக்கிறோம். ஆனால் இலட்சிய வாயுவை வெப்பநிலைமானிப் பொருளாகக் கொண்டிருக்கும் வெப்பநிலைமானியின் உதவியால் குறிக்கப்படும் வெப்பநிலை அளவீடுகள் இந்த அளவுக்கு அரிய எளிய அர்த்தம் ஒன்றைக் கொடுக்கிறது என்பதை நாம் இங்குப் பார்க்கிறோம். வெப்பநிலை மூலக்கூறுகளின் நேர்ப் பெயர்ச்சி இயக்கத்தின் சராசரி ஆற்றலின் மதிப்புக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

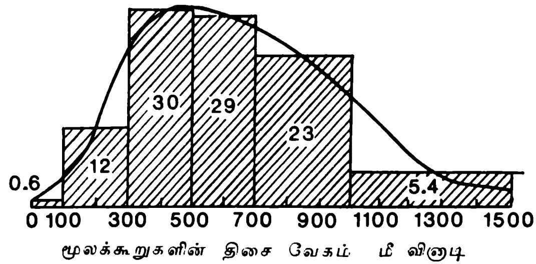
அறை வெப்பநிலையில் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகத்தை நாம் கணக்கிடுவோம். முழு எண்ணில் குறிப்பிடும் பொழுது, அறை வெப்பநிலையை $27^\circ C = 300 K$ என்று நாம் எடுத்துக் கொள்வோம். ஆக்ஸிஜனின் மூலக்கூற்றுப் பருமம் 32 ஆகும். ஆகவே ஒரு மூலக்கூற்றின் எடை $32/6 \times 10^{23}$க்குச் சமமாகும். ஒரு எளிய கணக்கீடு $v_{\text{சராசரி}} = 4.8 \times 10^4$ செ. மீ/வினடி, அதாவது 500 மீ/வினடி என்ற முடிவைத் தருகிறது. ஹைடிரஜன் மூலக்கூறுகள் இதைக் காட்டிலும் குறிப்பிடும் அளவுக்கு அதிக வேகத்துடன் இயங்குகின்றன. அவற்றின் பொருண்மைகள் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் பொருண்மைகளைவிட 16 மடங்குகள் குறைவாயிருக்கின்றன. அவற்றின் வேகங்கள் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் வேகங்களைவிட $\sqrt{16} = 4$ மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கின்றன. அதாவது இவை அறை வெப்பநிலையில்

கிட்டத்தட்ட 2 கி.மீ/விஞடி என்ற வேகத்தைக் கொண் டிருக்கின்றன. நுண்ணேக்கியின் வழியாகக் கண்ணுக்குப் புலப்படக்கூடிய சிறு துகளின் வெப்ப வேகத்தை நாம் இங்கு மதிப்பிடுவோம். ஒரு மைக்ரான் 10^{-4} செ.மீ அள வுள்ள விட்டத்தைக் கொண்டிருக்கும் தூசித் துகளே நுண் ணேக்கியின் வழியே நாம் பார்க்க முடிகிறது. ஒன்றுக்கு நெருங்கிய அடர்த்தியின் மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும் இத் தகைய துகளின் பொருண்மை 5×10^{-13} கிராமுக்கு அருகில் இருக்கும். இதன் வேகத்தின் மதிப்பு கிட்டத்தட்ட 0.5 செ.மீ/விஞடி ஆக இருக்கிறது என்பதை நாம் பார்க்கி ரேம். இத்தகையதொரு இயக்கம் கவனிக்கப்படக் கூடி யதாயிருக்கிறது என்பது ஆச்சரியமான செய்தி அல்ல.

0.1 கி என்னும் பொருண்மையைக் கொண்ட துகளின் ப்ரௌனின் இயக்க வேகம் 10^{-6} செ.மீ/விஞடி ஆகும். இத்தகைய துகள்களின் ப்ரௌனின் இயக்கத்தை நாம் பார்க்க முடியாமலிருப்பதில் ஆச்சரியம் ஒன்றும் இல்லே.

ஒரு மூலக்கூற்றின் சராசரி வேகத்தைப் பற்றி நாம் பார்த்திருக்கிரேம். ஆனுல் எல்லா மூலக்கூறுகளும் ஒரே வேகத்துடன் இயங்குவதில்லே. ஒரு குறிப்பிட்ட விகித மூலக்கூறுகள் சராசரி வேகத்தைக் காட்டிலும் அதிக வேகத்துடனும் மற்றவை குறைந்த வேகத்துடனும் இயங்கு கின்றன. இவையனேத்தையும் கணக்கிடுவது சாத்தியமானதே என்பது தெரியவருகிறது. நாம் முடிவுகளே மட்டுமே இங் குத் தருகிரேம்.

ஏறக்குறைய 15°C என்னும் வெப்பநிலேயில் நைட்ர ஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகம் 500 மீ/விஞடிக்குச் சமமாகும்; 59% மூலக்கூறுகள் 300 லிருந்து 700 மீ/விஞ டிக்கு இடைப்பட்ட வேகத்துடன் இயங்குகின்றன. மூலக் கூறுகளின் 0.6 சதவீதம் மட்டுமே 0 விலிருந்து 100 மீ/விஞடி வரையிலான குறைந்த வேகத்துடன் இயங்குகின்



படம் 96

றன. 1000 மீ/விஞடியைக் காட்டிலும் அதிகமான வேகத்துடன் இயங்கும் மூலக்கூறுகள் 5.4% மட்டுமே இருக்கின்றன (படம் 96).

மூலக்கூறுகளின் நேர்ப் பெயர்ச்சி இயக்க ஆற்றலிஞல் கூடிய அவற்றின் பரப்பீட்டைக் (distribution) கணக்கிடுவதும் சாத்தியமாகிறது.

சராசரியின் இரு மடங்குக்கும் அதிகமான ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை 10%க்கும் குறைவாயிருக்கிறது. இதைக் காட்டிலும் அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த மூலக்கூறுகளின் விதிதம், ஆற்றலின் அதிகரிப்பைப் பொறுத்து வேகமாக வீழ்ச்சியடைகிறது. இவ்வாருக, சராசரியைப் போன்று குறைந்த பட்சம் 4 மடங்குகள் அதிக ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை 0.7% மட்டுமே; சராசரியைப் போன்று 8 மடங்குகள் அதிக ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகள் 0.06×10^{-4}%மும் சராசரியைப் போன்று 16 மடங்குகள் அதிக ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகள் 2×10^{-8}% மும் ஆகும்.

11 கி.மீ/விஞடி என்னும் வேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூற்றின் ஆற்றல் 32×10^{-12} எர்க்குக்குச் சமமாயிருக்கிறது. அறை வெப்பநிலையில் ஒரு மூலக்

கூற்றின் சராசரி ஆற்றல் 6×10^{-14} எர்க் ஆக மட்டுமே இருக்கிறது. ஆகவே ''பதினொரு கிலோமீட்டர்'' மூலக்கூறு ஒன்றின் ஆற்றல், சராசரி வேகத்தைக் கொண்ட மூலக்கூற்றின் ஆற்றலைப் போன்று குறைந்த பட்சம் 500 மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கிறது. 11 கி.மீ/விநாடிக்கு மேற்பட்ட வேகங்களைக் கொண்ட மூலக்கூறுகளின் விகிதம், கற்பனைக்கு எட்டாத அளவுக்கு மிகச் சிறிய 10^{-300} என்னும் அளவுடைய எண்ணுக்குச் சமமாயிருக்கிறது என்பது ஆச்சரியமானதல்ல.

ஆனால் 11 கி.மீ/விநாடி என்னும் வேகத்தில் மட்டுமே நாம் அதிகக் கவனம் செலுத்துகிறோம். என்? இவ்வேகத்துடன் இயங்கும் பொருட்கள் மட்டுமே பூமியிலிருந்து விடுபட்டுச் செல்ல முடியும் என்ற உண்மையைப் பற்றி நாம் மேலே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். ஆகவே மிக அதிக உயரத்துக்கு எழும்பிச் சென்ற மூலக்கூறுகள், பூமியினுடன் அவற்றின் பிணைப்புகளை அறுத்துக் கொண்டு, தூரத்து விண்வெளிப் பயணத்தை மேற்கொள்ள முடியும்; ஆனால் இவ்வாறு செய்வதற்கு 11 கி.மீ/விநாடி என்னும் வேகம் அவசியமாயிருக்கிறது. பில்லியன் வருடங்களின் காலப் போக்கில் கூடப் பூமி அதன் வளிமண்டலத்தை இழந்துவிடும் அபாயம் ஒன்றுமில்லை என்று கூறும் அளவுக்கு, நாம் மேலே குறிப்பிட்டிருப்பது போன்றே, இத்தகைய மிக வேகமான மூலக்கூறுகளின் விகிதம் ஒதுக்கிவிடக் கூடிய அளவுக்கு மிகச் சிறியதாயிருக்கிறது.

வளிமண்டலத்திலிருந்து விடுபட்டுச் செல்லும் வீதம் மிக அதிகமான அளவில் $\frac{gMm}{r}$ என்னும் ஈர்ப்பு ஆற்றலைப் பொறுத்திருக்கிறது. மூலக்கூற்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் புவியீர்ப்பு ஆற்றலைவிடப் பல மடங்குகள் குறைவாயிருந்ததால், பூமியிலிருந்து மூலக்கூறுகள் விடுபட்டுச் செல்லுவது

நடைமுறையில் சாத்தியமானதல்ல. சந்திரனின் மேற்பரப்பில் ஈர்ப்பாற்றல் இதைவிட 20 மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறது. சந்திர மண்டலத்திலிருந்து ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறு விடுபட்டுச் செல்வதற்கு 1.15×10^{-12} எர்க் அளவுள்ள ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. இம்மதிப்பு ஒரு மூலக்கூற்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றலின் மதிப்பைவிட 20—25 மடங்குகளே அதிகமாயிருக்கிறது. சந்திரனின் பிணைப்பிலிருந்து விடுபட்டுச் செல்லும் தகுதி வாய்ந்த மூலக்கூறுகளின் விகிதம் 10^{-17} க்குச் சமமாயிருக்கும். இது 10^{-300} லிருந்து வெகு தூரத்திலிருக்கிறது. சந்திர மண்டலத்திலிருந்து காற்று வேகமாக வெளியேறி, கோள்களுக்கிடையேயான விசும்பை அடையும் எனக் கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. ஆகவே சந்திரனில் வளிமண்டலம் இல்லை என்பது ஆச்சரியத்தைத் தருவதில்லை.

வெப்பவியல் விரிவு

பொருள் சூடேற்றப்பட்டால், அதில் அடங்கியிருக்கும் அணுக்களின் இயக்கம் மிகத் தீவிரமாக நடைபெறுகிறது. அவை ஒன்றையொன்று விலக்கித் தள்ள ஆரம்பித்து அதிக இடத்தை அடைத்துக் கொள்கின்றன. கீழ்வரும் நன்கு அறியப்பட்ட உண்மை இதனுல் விளக்கப்படுகிறது: சூடேற்றப் படும் பொழுது திடப்பொருட்கள், திரவங்கள், வாயுக்கள் விரிவடைகின்றன.

வாயுக்களின் வெப்ப விரிவைப் பற்றி நாம் அதிகமாக எதுவும் சொல்ல வேண்டியதில்லை. உண்மையில் வாயுக்களின் வெப்பநிலைக்கும் கன அளவுக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் ஒப்பு அளவே (proportionality) நமது வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையின் அடிப்படையாக ஆக்கப்பட்டது. மாருத அழுத்தத்தின் கீழிருக்கும் வாயுவின் வெப்பநிலை ஒவ்வொரு 1°C ஏறும் பொழுதும் அதன் கன அளவு

அதன் 0°C மதிப்பில் 1/273 (அதாவது 0.0037) மடங்கு அதிகரிக்கிறது என்பதை

$$V = V_0 T/273$$

என்ற சூத்திரத்திலிந்து நாம் அறிகிறோம். (இது சில சமயங்களில் கேய்—லூஸாகின் விதி என அழைக்கப்படுகிறது)·

இயல்பான சூழ்நிலைகளின் கீழ், அதாவது அறை வெப்பநிலையிலும் ஒரு வளியழுத்தத்துக்குச் சமமான அழுத்தத்திலும் பெரும்பாலான திரவங்கள், வாயுக்களைப் போன்று மூன்றில் ஒரு பங்கிலிருந்து இரண்டில் ஒரு பங்கு வரையிலான அளவு விரிவடைகின்றன.

தண்ணீரின் பொது நிலை பிறழ்ந்த (anomalous) *விரிவைப் பற்றி ஏற்கனவே ஒரு முறைக்கு மேலாகவே நாம் குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். தண்ணீர்* 0°C *லிருந்து* 4°C*க்குச் சூடேற்றப்படும் பொழுது, அதன் கன அளவு குறைகிறது. தண்ணீர் விரிவடைதலில் ஏற்படும் இப்பொது நிலை பிறழ்ச்சி, பூமியில் நிலைபெற்றிருக்கும் உயிர் வாழ்க்கைக்கு முக்கிய பங்காற்றுகிறது. இலையுதிர் காலங்களில் தண்ணீர் குளிர்ச்சியடையும் பொழுது, தண்ணீரின் மேலடுக்குகள் அதிக அடர்த்தி உடையனவாகி, கீழ்நோக்கி இறங்குகின்றன. கீழிருந்து மேல்நோக்கி எழும்புகிற சிறிது சூடான தண்ணீர் இவற்றின் இடத்தைப் பிடித்துக் கொள்கிறது. ஆனால் தண்ணீரின் வெப்பநிலை* 4°C*க்கு இறங்கும் வரை மட்டுமே இத்தகைய கலத்தல் நடைபெறுகிறது. வெப்பநிலை மேலும் இறங்கும் பொழுது, மேலடுக்குகள் சுருங்குவதில்லை; ஆகவே இவற்றின் எடை அதிகரிக்காமலிருப்பதால் இவை கீழ்நோக்கி இறங்குவதில்லை. இவ்வெப்பநிலையிலிருந்து மேலடுக்கு படிப்படியாகக் குளிர்ச்சியடைந்து பூச்சிய டிகிரியை அடைந்து உறைகிறது.*

தண்ணீரின் இத்தனித் தன்மையே ஆறுகள் அவற்றின்

படுக்கைகள் வரைக்கும் உறைவதிலிருந்தும் தடுக்கிறது. தண்ணீர் இவ்வளவு முக்கியமான அதன் பொது நிலைப் பிறழ்ச்சியைத் திடீரென இழக்குமானால், இதனால் ஏற்படும் துக்கமான விளைவுகளை வளமான கற்பனைத் திறன் இல்லாத ஒருவரால்கூட எளிதில் தன் மனக் கண் முன் கொண்டு வர முடியும்.

திடப்பொருட்களின் வெப்ப விரிவு திரவங்களின் விரிவைக் காட்டிலும் குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்கு மிகவும் குறைவானதாய் இருக்கிறது. வாயுக்களின் திரிவைக் காட்டிலும் இது நூறு அல்லது ஆயிரம் மடங்குகள் குறைவாய் இருக்கிறது.

வெப்ப விரிதல் பல சூழ்நிலைகளில் விரும்பத்தகாத இடையூறாக அமைகிறது. இவ்வாறாக ஒரு கடிகாரத்தின் இயங்கும் பகுதிகளில் அமைந்திருக்கும் கூருணர்வுக் கூறுகள் "இன்வார்" (ஆங்கிலத்தில் இன்வேரியன்ட் என்றால் மாறமலிருப்பது என்பது பொருள், ஆகவேதான் இன்வார் என்ற பெயர்) என்றதொரு பிரத்யேக உலோகக் கலவையால் ஆக்கப்படாமலிருந்தால், வெப்பநிலையின் மாற்றத்தினால் இயங்கும் பகுதிகளின் அளவுகள் மாறுதலடைந்து, கடிகாரத்தின் வேகத்தில் மாறுதல் ஏற்படுகிறது. இரும்புடன் அதிகப்படியான நிக்கலைச் சேர்த்துத் தயாரிக்கப்படும் இன்வார், கருவிகளின் தயாரிப்பில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இன்வார் கம்பியின் வெப்பநிலை 1°C ஏறும் பொழுது, அது மில்லியனில் ஒரு பகுதி அளவே நீட்டப்படுகிறது.

மிகக் குறைந்த அளவுடையதாகத் தோன்றும் திடப்பொருளின் வெப்ப விரிதல், விபரீதமான விளைவுகளுக்கு வழிகாட்ட முடியும். திடப்பொருட்களின் குறைந்த இறுகுதிறன் அவற்றின் வெப்ப விரிதலுக்குத் தடையாக அமைவதில்லை என்பதே இதன் காரணமாகும்.

இரும்புக் கம்பி $1^{\circ}C$ சூடேற்றப்படும் பொழுது, அதன் நீளத்தில் நூற்றுயிரத்தில் ஒரு பகுதி அளவே, அதாவது இயல்பான கண்ணுக்குப் புலப்படாத அளவுதான் நீட்சி அடைகிறது. ஆயினும் விரிதலைத் தடுப்பதற்கும் நூற்று யிரத்தில் ஒரு பகுதி அளவு கம்பியை இறுகச் செய்வதற் கும் ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பின் மீது செயல்படும் 20 கி.கி.வி (Kgf) அளவு விசை தேவைப்படுகிறது. இது $1^{\circ}C$ வெப்பநிலை ஏற்றத்தால் கட்டும் ஏற்படும் விளைவுக ளைச் சரிக் கட்டுவதற்குத்தான்!

வெப்ப விரிதலினுல் உண்டாகும் விசைகள் கவனிக் காமல் விடப்பட்டால் சேதங்களுக்கும் அழிவுக்கும் கொண்டு செல்லும். இவ்வாறு இவ்விசைகளின் விளைவுக ளைத் தடுக்கவே ரயில் பாதைப் படுக்கையில் தண்டவாளங் கள் இடைவெளிகளுடன் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. சமச் சீரற்ற சூடேற்றுதலினுல் எளிதில் கீறக்கூடிய கண்ணுடிச் சாமான்களை நாம் கையாளும் பொழுது, இவ்விசைகளை ஞாபகத்தில் கொள்ள வேண்டும். ஆகவேதான் இக்கு றையிலிருந்து விடுப்படிருக்கும் குவார்ட்ஸ் கண்ணுடியால் (சிலிகான் டையாக்ஸைடு என அழைக்கப்படும் உருக்கப் பட்ட குவார்ட்ஸ் மணி வடிவற்ற நிலையிலிருக்கிறது) செய்யப்பட்ட பாத்திரங்களை ஆய்வகங்களில் உபயோகிப் பது பழக்கமாகிவிட்டது. ஒரே அளவு வெப்பநிலை ஏற்றத் தால் தாமிரக் கம்பி ஒரு மில்லிமீட்டர் நீட்டப்படும் பொழுது, குவார்ட்ஸ் கண்ணுடியால் செய்யப்பட்டிருக்கும் இதே அளவு கம்பி கண்ணுக்குப் புலப்படாத 30—40 மைக்ரான்கள் (μm) அளவே அதன் நீளத்தை மாற்றிக் கொள்கிறது. குவார்ட்ஸ் பாத்திரத்தைச் சில நூறு டிகி ரிகள் வரை சூடேற்றி, எவ்வித பயமும் இன்றித் தண்ணீ ரில் எறியக்கூடிய அளவுக்குக் குவார்ட்ஸின் விரிவு மிக மிகக் குறைவாயிருக்கிறது.

வெப்பக் கொண்மை (heat capacity)

பொருளின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் உண்மையில் அதன் வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருக்கிறது. பொருள் அதிகமாகச் சூடேற்றப்பட வேண்டுமானுல், அதிகமான ஆற்றல் தேவைப் படுகிறது. பொருளின் வெப்பநிலையை 0°C யிலிருந்து 1°Cக்கு ஏற்றுவதற்கும் 100°C யிலிருந்து 101°Cக்கு ஏற்றுவதற்கும் சில வித்தியாசமான அளவுகளைக் கொண்ட வெப்பம் தேவைப்படுகிறது.

வழக்கமாக C என்ற கணியம் 1 கிராம் பொருண்மை யைக் கொண்ட பொருளுக்கென்று வரையறுக்கப்பட்டு வெப்ப எண் என்று அழைக்கப்படுகிறது. இது c என்னும் சிறிய எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. m என்ற பொருண்மை யைக் கொண்ட பொருளைச் சூடேற்றும் பொழுது உட்கொள் ளப்படும் வெப்ப அளவு கீழ்வரும் சூத்திரத்திஞல் தரப்ப டுகிறது:

வெப்பநிலையை T_1 லிருந்து T_2க்கு உயர்த்த வேண்டு மானுல், வெப்ப வடிவத்தில்

$$Q = \check{C}\,(T_2 - T_1)$$

என்னும் ஆற்றலைக் கொடுக்க வேண்டியது அவசியமாயி ருக்கிறது. இதில் C என்பது விகித காரணியாகும். இதுவே பொருளின் வெப்பக் கொண்மை என அழைக்கப்படுகிறது. வெப்பக் கொண்மை என்னும் இவ்வியற்பாட்டின் வரைய றுப்பு மேற்கூறிய சூத்திரத்திலிருந்து தெரியவருகிறது: 1°C வெக்கநிலையை உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்ப அளவே C ஆகும். வெப்பக் கொண்மையுங்கூட வெப்ப நிலையைச் சார்ந்திருக்கிறது: வெப்பநிலை

$$Q = mc\,(T_2 - T_1).$$

இதன் பின் வரும் பகுதிகளில் சுய வெப்ப எண் (specific heat capacity)ணின் இயற்பாட்டை நாம் உபயோகிப் போம். ஆனுல் சுருக்கத்தின் பொருட்டுப் பொருளின் வெப் பக் கொண்மையைப் பற்றியே நாம் பேசுவோம். கணியத் தின் அலகு எப்பொழுதும் கூடுதல் வழிகாட்டியாக அமைகி றது. வெப்பக் கொண்மையின் மதிப்பு ஒரு அகல நெடுக் கத்தினுள் மாறுகிறது. உண்மையில் வரையறுப்பின்படி கலோரிகள் டிகிரி என்ற அலகால் குறிக்கும் பொழுது, தண் ணீரின் வெப்பக் கொண்மை ஒன்றுக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

பெரும்பாலான பொருட்கள் தண்ணீரைவிடக் குறை வான வெப்பக் கொண்மைகளேயே கொண்டிருக்கின்றன. இவ்வாருக பெரும்பாலான எண்ணெய்கள், ஆல்கஹால்கள் மற்றும் ஏனைய திரவங்கள் 0.5 கலோரி/கி.டிகிரி ($cal/g\cdot K$) அளவிலான வெப்பக் கொண்மைகளைக் கொண்டிருக்கின் றன. குவார்ட்ஸ், கண்ணுடி மற்றும் மணல் 0.2 கலோரி/கி. டிகிரி அளவிலான வெப்பக் கொண்மைகளைக் கொண்டிருக் கின்றன. இரும்பு, தாமிரம் ஆகியவற்றின் வெப்பக் கொண் மைகள் கிட்டத்தட்ட 0.1 கலோரி/கி.டிகிரி ஆக இருக் கின்றன. சில வாயுக்களின் வெப்பக் கொண்மைகள் இங்கு உதாரணங்களாகத் தரப்பட்டிருக்கின்றன. ஹைடிரஜன்—3.4 கலோரி/கி. டிகிரி, காற்று—0.24 கலோரி/கி. டிகிரி.

ஒரு நியதியாக, வெப்பநிலை வீழ்ச்சியுடன் எல்லாப் பொருட்களின் வெப்பக் கொண்மைகளும் குறைகின்றன. மெய்ச்சுழிக்கு அருகில் உள்ள வெப்பநிலைகளில் பெரும் பாலான பொருட்களின் வெப்பக் கொண்மைகள் ஒதுக்கி விடக் கூடிய அளவுக்கு மிகக் குறைந்த மதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவ்வாறு, 20° K இல் தாமிரத்தின் வெப்பக் கொண்மை 0.0035க்குச் சமமாயிருக்கிறது; அறை வெப்பநிலையில் இருப்பதைக் காட்டிலும் இது 24 மடங்குகள் குறைவாயிருக்கிறது.

பொருட்களுக்கிடையே வெப்பம் பரப்பிடுதல் பற்றிய பலதரப்பட்ட பிணக்குகளைத் தீர்ப்பதற்கு வெப்பக் கொண்மைகளை அறிந்திருப்பது மிக உதவியாயிருக்கலாம்.

தண்ணீர், நிலம் ஆகியவற்றின் வெப்பக் கொண்மைகளுக்கிடையே அமைந்திருக்கும் வேறுபாடு கடல் சார்ந்த பகுதி, பெரு நிலப்பகுதி ஆகியவற்றின் தட்ப வெப்பநிலைகளுக்கிடையேயான வேறுபாட்டை நிர்ணயிக்கும் காரணங்களில் ஒன்ருக அமைகிறது. நிலத்தைப் போன்று ஏறக்குறைய ஐந்து மடங்கு அதிக வெப்பக் கொண்மையைக் கொண்டிருக்கும் தண்ணீர் மெதுவாகவே வெப்பமடைகிறது. இதே போன்று மெதுவாகவே குளிர்ச்சியும் அடைகிறது.

கோடைகாலங்களில் கடல் சார்ந்த நிலப்பகுதிகளில் தண்ணீர், நிலப்பகுதியைக் காட்டிலும் மெதுவாகச் சூடேறி, காற்றைக் குளிரச் செய்கிறது. ஆனுல் குளிர் காலத்தில் சற்றுச் சூடேறி இருக்கும் கடல் நீர் காற்றுக்கு வெப்பத்தைக் கொடுத்து, படிப்படியாகக் குளிர்ச்சியடைந்து, பனிக்காலத்தின் கொடுமையைத் தணிக்கிறது. 1கன மீட்டர் கடல் நீர் 1°C குளிர்ச்சியடையும் பொழுது, 3000 மீ^{3} அளவுள்ள காற்றை 1°C சூடேற்றுகிறது என்பதைக் கணக்கிட்டுக் காட்டுவது கடினமல்ல. இதன் விளைவால் கடல் சார்ந்த நிலப்பகுதிகளில் ஏற்படும் வெப்பநிலை மாறுபாடுகள், குளிர்காலம், கோடை காலம் ஆகியவற்றின் வெப்பநிலைகளின் வித்தியாசம் முதலியவை பெரு நிலப்பகுதிகளிலிருப்பதைவிட மிகக் குறைந்தே காணப்படுகின்றன.

வெப்பக் கடத்துகை

ஒவ்வொரு பொருளும் சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளை நோக்கி வெப்பம் கடந்து செல்லும் பலமாகப்

பயன்படுகிறது. எடுத்துக் காட்டாக, சூடான தேநீரைக் கொண்டிருக்கும் டம்ளரில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் தேநீர்க் கரண்டி இத்தகையதொரு பாலமாக அமைகிறது. உலோகத் தாலான பொருட்கள் வெப்பத்தை நன்ருகக் கடத்துகிறது. ஒரு விளுடியில் டம்ளரில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் கரண்டி யின் மேல் முனை சூடாகிறது.

சூடாயிருக்கும் கலவையைக் கலக்க வேண்டிய அவசி யம் ஏற்பட்டால், கலக்கியின் கைப்பிடி மரத்தால் அல்லது பிளாஸ்டிக்கால் செய்யப்பட்டிருந்தால் வேண்டும். இத்திடப் பொருட்கள் உலோகங்களைவிட 1000 மடங்குகள் குறைவான அளவே வெப்பத்தைக் கடத்துகின்றன. ''வெப்பத்தைக் கட த்துகிறது'' என்று நாம் குறிப்பிட்டிருக்கிருேம். ஆனுல் ''குளிர்ச் சியைக் கடத்துகிறது'' என்று நாம் குறிப்பிட்டிருக்க முடியும். உண்மையில் பொருளின் வழியே வெப்பம் பாய்ந்து செல்லும் திசையைப் பொறுத்து அப்பொருளின் பண்புகள் மாறுவதி ல்லை. உறைபனிக்காலத்தில் வீட்டுக்கு வெளியே சென்ருல், நமது வெறுங்கைகள் உலோகங்களைத் தொடாமல் பார்த்துக் கொள்வதில் கவனமாயிருக்கிருேம். ஆனுல் அதே நேரத் தில் மரத்தாலான கைப்பிடிகளைப் பயமின்றிப் பற்றிக் கொள்கிருேம்.

''வெப்பக் காப்பான்கள்'' (heat insulators) என அழைக்கப்படும் வெப்பம் கடத்தாப் பொருட்களுள்—மரம், செங்கல், கண்ணுடி, பிளாஸ்டிக் ஆகியவை அடங்கியிருக்கின் றன. வீடுகள், அடுப்புகள், குளிர் சாதனப் பெட்டிகள்ஆகி யவற்றின் சுவர்கள் இவற்ருல் செய்யப்படுகின்றன.

நல்ல வெப்பக் கடத்திகளின் வரிசையில் எல்லா உலோகங்களும் இடம் பெற்றிருக்கின்றன. தாமிரமும் வெள் ளியும்தான் மிக நல்ல கடத்திகளாகும். இவை இரும்பைப் போன்று இரு மடங்கு அதிக வெப்பத்தைக் கடத்துகின் றன.

திடப்பொருட்கள் மட்டுமே வெப்பப் பாய்ச்சலின் பாலங்களாக அமைந்திருக்கவில்லை. திரவங்களும் வெப்பத்தைக் கடத்துகின்றன. ஆனால் உலோகங்களைவிட மிகக்குறைந்த அளவில்தான். உலோகங்களின் வெப்பக் கடத்துகை திட, திரவப் பொருட்களின் வகையைச் சேர்ந்த உலோகமில்லாத பொருட்களின் வெப்பக் கடத்துகையைக் காட்டிலும் நூற்றுக்கணக்கான மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கிறது.

தண்ணீரின் குறைந்த வெப்பக் கடத்துகையைச் செய்முறைகள் மூலம் மெய்ப்பித்துக் காட்டுவதற்காகக் கீழ்வரும் பரிசோதனை செய்யப்படுகிறது. தண்ணீரால் நிறைக்கப்பட்டிருக்கும் சோதனைக் குழாயின் அடிப்பாகத்துடன் பனிக்கட்டித் துண்டு ஒன்று சேர்த்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. சோதனைக் குழாயின் மேல்பாகம் ஆவி விளக்கின் மேல் வைக்கப்பட்டுச் சூடேற்றப்படுகிறது; தண்ணீர் கொதிக்க ஆரம்பிக்கிறது; ஆனால் பனிக்கட்டிக்கு உருக வேண்டும் என்ற எண்ணமே இன்னும் எழவில்லை. சோதனைக் குழாய் உலோகத்தால் ஆக்கப்பட்டு, தண்ணீரால் நிறைக்கப்படாமல் இருந்தால், பனிக்கட்டித் துண்டு பெரும்பாலும் உடனேயே உருக ஆரம்பித்துவிடும். தண்ணீர் தாமிரத்தைவிடக் கிட்டத்தட்ட 200 மடங்குகள் குறைவாகவே வெப்பத்தைக் கடத்துகிறது.

வாயுக்கள், உலோகமில்லாத திரவரூபமாக்கிய (condensed) பொருட்களைவிடப் பல பத்து மடங்குகள் குறைவாகவே வெப்பத்தைக் கடத்துகின்றன. காற்றின் வெப்பக் கடத்துகை தாமிரத்தின் வெப்பக் கடத்துகையைவிட 20000 மடங்குகள் குறைவாய் இருக்கிறது.

—78°C வெப்பநிலையில் இருக்கும் உலர் பனிக்கட்டியின் துண்டை நம் கையில் வைத்திருப்பதற்கும் —196°C என்ற வெப்பநிலையைக் கொண்டிருக்கும் திரவ நைட்ரஜனின் துளியை நம் உள்ளங்கையில் வைத்திருப்பதற்கும்

வாயுக்களின் குறைந்த வெப்பக் கடத்துகையே காரணமாக அமைகிறது. குளிர்ந்திருக்கும் இப்பொருட்களை நம் விரல்களால் அழுத்திப் பிடிக்காமலிருந்தால், எவ்வித எரிச்சலும் ஏற்படுவதில்லை. திரவத்தின் துளியோ அல்லது திடப் பொருள் துண்டோ அதிக ஆற்றலுடன் கொதித்துக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, ஒரு ''ஆவி உறையால்'' சூழப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வாறு அமையப்பெற்ற வாயு அடுக்கு வெப்பக் காப்பாளுகப் பயன்படுகிறது என்ற உண்மையே இதற்கான காரணம் ஆகும்.

திரவத்தின் துளிகள் ஆவியால் சூழப்பட்டிருக்கும் நிலையைத் திரவத்தின் கோளவடிவ நிலை (spheroidal state) என நாம் அழைக்கிறோம். அதிகச் சூடாயிருக்கும் வறுத்தலுக்குரிய இரும்புச் சட்டியினுள் தண்ணீர் வைக்கப்படும் பொழுது, இந்நிலை ஏற்படுகிறது. கொதி நீரின் வெப்பநிலைக்கும் மனித உடலின் வெப்பநிலைக்கும் இடையேயான வித்தியாசம் கையின் வெப்பநிலைக்கும் திரவக் காற்றின் வெப்பநிலைக்கும் இடையேயான வித்தியாசத்தைக் காட்டிலும் குறைவாகவே இருந்தாலுங்கூட ஒருவர் கையின் மீது விழுந்த கொதி நீர்த் துளிகள் அதை நன்றாக எரித்து விடுகின்றன. கொதி நீர்த் துளிகளைவிட ஒருவரின் கை குளிர்ந்திருப்பதால் வெப்பம் துளிகளை விட்டு நீங்குகிறது. கொதித்தல் நிறுத்தப்பட்டு, ஆவி உறை எதுவும் உண்டாவதில்லை.

வெற்றிடம் அல்லது வெறுமையே மிக உன்னத வெப்பக் காப்பாளுகும் என்பதைப் புரிந்து கொள்வதில் கடினம் ஒன்றும் இல்லை. வெற்றிடத்தில் வெப்ப ஊர்திகள் எதுவும் இல்லை. ஆகவே வெப்பக் கடத்துகை சிறுமமாக இருக்கிறது.

ஆகவே குளிர்ந்திருக்கும் பொருளிலிருந்து சூடான பொருளைப் பாதுகாப்பதற்காகவோ அல்லது சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்திருக்கும் மற்றொன்றைப் பாதுகாப்

பதற்காகவோ வெப்பத் தடுப்பை நாம் அமைக்க விரும்பினுல், இரட்டைச் சுவர் கொண்ட பெட்டியை அமைத்து அச்சுவர்களுக்கிடையே இருக்கும் காற்றை வெளியேற்ற வேண்டியதே நாம் செய்ய வேண்டிய மிகச் சிறந்த செயலாகும். இவ்வாறு செய்யும் பொழுது, கீழ்வரும் ஆர்வத்தைத் தூண்டும் இயற்பாட்டை நாம் காண நேரிடுகிறது. வாயுவின் அடர்த்திக் குறைக்கப்பட்டுக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, அதன் வெப்பக் கடத்துகையின் மாறுதலை நாம் கூர்ந்து கவனிப்போமாயின், அழுத்தம் பாதரச ஸ்தம்பத்தின் சில மில்லிமீட்டர்களாகக் குறையும் தருணம் வரையிலும் வெப்பக் கடத்துகை நடைமுறை ரீதியாக மாறிலியாய் இருப்பதை நாம் காண முடிகிறது. இன்னும் அதிக வெற்றிடத்தை ஏற்படுத்தும் பொழுதுதான் வெப்பக் கடத்துகை செங்குத்தாக வீழ்ச்சியடைகிறது என்னும் நமது யூகம் சரியாயிருக்கிறது.

ஆனுல் இதற்கான காரணம் என்ன?

இந்த இயற்பாட்டை நாம் புரிந்து கொள்ள வேண்டுமானுல், வாயுவில் வெப்பம் கடத்தப்படும் முறையை நம் மனக் கண் முன் கொண்டு வர முயற்சிக்க வேண்டும்.

மூலக்கூற்றிலிருந்து அதன் அண்டை மூலக்கூற்றுக்கு ஆற்றல் கடத்தப்படுவதன் மூலமாகவே வெப்பமான இடத்திலிருந்து குளிர்ச்சியான மற்ருெரு இடத்துக்கு வெப்பம் கடத்தப்படுகிறது. வேகமாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளுக்கும் மெதுவாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளுக்கும் இடையே நிகழும் மோதல்கள் பொதுவாக மெதுவாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் முடுக்கத்துக்கும் வேகமாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எதிர் முடுக்கத்துக்கும் வகை செய்கின்றன. வெப்பமான இடம் குளிர்ச்சி பெறுகிறது. குளிர்ச்சியான இடம் வெப்பமடைகிறது என்பதே இதன் பொருளாகும்.

ஆனால் அழுத்தத்தின் குறைவால் வெப்பக் கடத்தல் எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது? அழுத்தக் குறைவு அடர்த்தியைக் குறைப்பதால், வேகமாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகள் மெதுவாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகள் முதலியவற்றுக்கிடையே நிகழும் மோதல்களின் எண்ணிக்கையும் குறைகிறது. இதனால் ஆற்றலின் பரப்புகை வேகமும் குறைவுபடுகிறது. வெப்பக் கடத்துகையைக் குறைக்கிறது. ஆயினும், மற்றொரு பக்கத்தில், அழுத்தத்தின் குறைவு மூலக்கூறுகளின் சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தின் அதிகரிப்புக்கு வகை செய்கிறது. ஆகவே மூலக்கூறுகள் அதிகத் தூரங்களுக்கு வெப்பத்தைக் கடத்துகின்றன. இது வெப்பக் கடத்துகையை அதிகப்படுத்த முயற்சிக்கிறது. இவ்விளைவுகள் ஒன்றையொன்று சரியீடு செய்து விடுகின்றன என்பதைக் கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. ஆகவேதான் காற்று வெளியேற்றப்படும் பொழுது, சிறிது நேரம் வரையிலும் வெப்பத்தைக் கடத்தும் திறன் மாறுவதில்லை.

சராசரி மோதலிடைத் தூரம் பாத்திரத்தின் சுவர்களுக்கிடையேயான தூரத்துடன் ஒப்பிடப்படும் அளவுக்கு வெற்றிடம் அதிகமாகும் வரையிலும் இந்நிலை நீடிக்கிறது. மேலும் அழுத்தத்தில் ஏற்படும் குறைவு, மோதல்கள் எதுவுமின்றிப் பாத்திரத்தின் சுவர்களுக்கிடையே ஓடிக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தை மாற்ற இயலாது. அடர்த்தியின் குறைவு சரியீடு செய்யப்படுவதில்லை. ஆகவேதான் வெப்பக் கடத்துகை அழுத்தத்தின் விகிதப்படி குறைவுற்று முடிவில் அதிக வெற்றிடம் உண்டாக்கப்படும் பொழுது, ஒதுக்கிவிடக்கூடிய அளவுக்குக் குறைந்த மதிப்பை அடைகிறது. வெப்பக் காப்புக் குடுவை (வெற்றிட புட்டி)யின் அமைப்பு, வெற்றிடத்தின் பண்புகளின் உபயோகத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கிறது. வெப்பக் காப்புக் குடுவைகள் மிகப் பரவலாகப்

பயன்படுத்தப்படுகின்றன. வெப்பமான அல்லது குளிர்ந்த உணவுப் பண்டங்களைப் பாதுகாப்பதற்கு மட்டுமின்றி, அறிவியல், தொழில் நுணுக்கவியல் ஆகிய துறைகளிலும் அவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இச்சூழ்நிலையில் பயன்படும் பொழுது, இவற்றைக் கண்டுபிடித்தவரைக் கௌரவிக்கும் முறையில் இவை "டீவார் குடுவைகள்" (பாத்திரங்கள்) என அழைக்கப்படுகின்றன. திரவ நிலையிலிருக்கும் காற்று, நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் முதலியவை இப்பாத்திரங்களின் மூலம் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றொரு இடத்துக்குக் கொண்டு செல்லப்படுகின்றன. இவ்வாயுக்கள் எவ்வாறு திரவ நிலையில் பெறப்பட்டன என்பதைப் பற்றிப் பின்னர் பார்ப்போம்.*

சலனம்

தண்ணீர் இந்த அளவுக்குக் குறைந்த வெப்பக் கடத்தியாக இருந்தால், தேநீர் கொதி கலத்தில் இருக்கும் தண்ணீர் எவ்வாறு வெப்பமடைகிறது? காற்று இதைவிடக் குறைவாகவே வெப்பத்தைக் கடத்துகிறது; இப்படியானால்,

---

* வெற்றிடப் புட்டிகளின் உருளைகளைப் பார்த்திருக்கும் ஒவ்வொருவரும் அவற்றின் சுவர்கள் வெள்ளி முலாம் பூசப்பட்டிருப்பதைக் கவனித்திருப்பார்கள். ஆனால் எதற்காக இவ்வாறு செய்யப்பட்டிருக்கிறது? வெப்பக் கடத்துகையின் மூலமாக மட்டும் வெப்பம் பரப்பப்படுவதில்லை என்ற உண்மையே இதன் காரணமாகும். வெப்பத்தைப் பரப்புவதற்கு வேறொரு வழியும் இருக்கிறது. "கதிர்வீச்சு" என்றழைக்கப்படும் இம்முறையை மற்றொரு புத்தகத்தில் பார்ப்போம். இயல்பான சூழ்நிலைகளில் வெப்பக் கடத்துகையை விட இம்முறை மிகவும் தளர்ந்து காணப்படுகிறது: ஆயினும் கவனிக்கத்தக்கதாய் இருக்கிறது. "கதிர்வீச்சை"த் தளர்வடையச் செய்வதற்காகத்தான் வெப்பக் காப்புக் குடுவையின் சுவர்கள் வெள்ளி முலாம் ஏற்றப்பட்டிருக்கின்றன.

அறையின் எல்லாப் பாகங்களிலும் ஒரே வெப்பநிலை அமைந்திருப்பது ஏன் என்பது தெளிவாக இல்லை.

தேநீர் கொதி கலத்தில் இருக்கும் தண்ணீர், ஈர்ப்பின் காரணத்தால்தான் மிக வேகமாகக் கொதிக்கிறது. தண்ணீரின் கீழடுக்குகள் வெப்பமடைவதனால் விரிவடைந்து, இதனால் எடை குறைந்து மேல்நோக்கி எழுகின்றன. குளிர்ந்த தண்ணீர் இவற்றின் இடத்தைப் பிடித்துக் கொள்கிறது. சூடேறுதல் மிக வேகமாக நடைபெறுகிறது. இதற்காக நாம் சலனத்துக்கு மட்டுமே நன்றி கூற வேண்டும் (ஒன்ருகக் கொண்டு வருதல் என்னும் பொருளுடைய ''கன்வெக்டஸ்'' என்னும் லத்தீன் வார்த்தையிலிருந்து). விண்வெளிப் பயணத்தில் ஈடுபட்டிருக்கும் ராக்கெட்டில் அமைந்திருக்கும் தேநீர்க் கொதி கலத்தில் உள்ள தண்ணீரை இவ்வளவு சுலபமாகச் சூடேற்ற முடியாது.

சற்று முன்னர் ஆறுகள் அடிப்பாகம் வரையிலும் உறைவதில்லையே. ஏன்? என்ற கேள்வியின் பதிலை விளக்கிக் கூறும் பொழுது, இவ்வார்த்தையைப் பயன்படுத்தாமலேயே தண்ணீரின் சலன ஓட்டத்தின் மற்ருெரு உதாரணத்தைக் குறிப்பிட்டோம்.

வெப்ப நீரை அளிக்கும் மத்திய அமைப்பின் கதிர் வீசுவான்கள் தரைக்கு அருகில் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஏன்? காற்ருேட்ட பலகணிகள் ஏன் ஒரு பலகணியின் மேற் பாகத்தில் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது? காற்ருேட்ட பலகணிகள் தாழ்வாக இருந்தால், அதைத் திறப்பதற்கு வசதியாக இருக்கும். கதிர்வீசுவான்கள் கூரைக்குக் கீழே இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிந்தால், நம் போக்குவரத்துக்கு இடையூருய் இருக்காது என்பது தவருன கருத்தல்ல.

இந்த யோசனைகளை நாம் பின்பற்றினுல், கதிர்வீசுவான்கள் அறையைச் சூடாக்குவதில்லை. காற்ருேட்டப் பலகணி திறந்து வைக்கப்பட்டிருக்கும் பொழுதும் அறை காற்ருேட்

டமாய் இருப்பதில்லை என்பனவற்றை நாம் வெகு சீக்கிரமே கண்டு கொள்ளலாம்.

ஒரு தேநீர் கொதி கலத்திலிருக்கும் தண்ணீருக்கு ஏற்படும் அதே நிலைமைதான் அறையினுள்ளிருக்கும் காற்றிற்கும் ஏற்படுகிறது. கதிர்வீசுவான் செயல்படத் தொடங்கும் பொழுது, அறையின் கீழடுக்குகளைச் சேர்ந்த காற்று சூடேற ஆரம்பிக்கிறது. இது விரிவடைந்து, எடை குறைந்து கூரையை நோக்கி மேலெழுகிறது. அதிகக் கனமாயிருக்கும் குளிர்ந்த காற்று இதன் இடத்தைப் பிடித்துக் கொள்கிறது. இவையும் சூடேறிய பின்பு கூரையை நோக்கிச் சென்று விடுகின்றன. வெப்பக் காற்று கீழிறிந்து மேல் நோக்கிச் சென்றும், குளிர்ந்த காற்று மேலிருந்து கீழ் நோக்கி வந்தும், அறையில் தொடர்ச்சியான காற்றோட்டம் உண்டாகிறது. குளிர்காலத்தில் காற்றோட்டப் பலகணியைத் திறப்பதால் நாம் குளிர் காற்றொழுக்கை அறையினுள் நுழைய அனுமதிக்கிறோம். இக்காற்று, அறையில் ஏற்கனவே இருக்கும் காற்றைவிடக் கனமாய் இருக்கிறது. ஆகவே, இது கீழ்நோக்கிச் சென்று சிறிது வெப்பமான காற்றை அதன் இடத்திலிருந்து இடம் பெயர்க்கிறது. இக் காற்று, அறையின் மேல்நோக்கிச் சென்று காற்றோட்டப் பலகணியின் வழியே வெளிச் செல்கிறது.

உயரமான கண்ணாடித் துண்டு ஒன்றினால் சூழப்பட்டிருக்கும் பொழுதுதான், ஒரு மண்ணெண்ணெய் விளக்கு நன்கு எரிகிறது. சுவாலையை வெளியிலுள்ள காற்று வீச்சிருந்தும் மறைத்துக் காப்பதற்காகத்தான் கண்ணாடி தேவைப்படுகிறது என நாம் எண்ணக் கூடாது. மிக அமைதியான வானிலையின் போதும் கூட கண்ணாடி, விளக்கில் பொருத்தப்படும் பொழுது, சுவாலையின் வெளிச்சம் (brightness) திடீரென்று அதிகமாகிறது. சுவாலையை நெருங்கிச் செல்லும் காற்றொழுக்கை அதிகப்படுத்துதலில் அல்லது காற்

ழுக்கின் மீது கவர்ச்சியை உருவாக்குவதில்தான் கண்ணாடியின் பங்கு அடங்கியிருக்கிறது. இந்நிகழ்ச்சியின் காரணம் பின் வருமாறு: கண்ணாடியின் உள்ளே இருக்கும் காற்று, எரிதலின் போது பயன்படுத்தப்பட்ட ஆக்ஸிஜனை முழுவதுமாக இழந்து விரைவாகச் சூடேறி மேல் நோக்கி எழுகிறது; அதே நேரத்தில் விளக்கின் தகளியில் ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கும் துவாரங்களின் வழியே சுத்தமான குளிர் காற்று, உட்புகுந்து இவற்றின் இடத்தை அடைத்துக் கொள்கிறது.

கண்ணாடியின் உயரம் அதிகமாயிருந்தால், விளக்கும் மிக நன்றாக எரிகிறது. உண்மையில் தகளியின் வழியாகக் குளிர் காற்று விளக்கினுள் நுழையும் வேகம், விளக்கினுள் இருக்கும் சூடேற்றப்பட்ட காற்றுத் ஸ்தம்பத்திற்கும், விளக்கு வெளியே இருக்கும் குளிர்ந்த காற்றுக்கும் இடையேயான எடையின் வித்தியாசத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. காற்றுத் ஸ்தம்பத்தின் உயரம் அதிகமாயிருந்தால், இந்த எடை வித்தியாசம் அதிகமாயிருக்கும். ஆகவே காற்றின் இயக்கமும் வெகமாக அமையும்.

இக்காரணத்தினால்தான் தொழிற்சாலை புகை போக்கிகளும் அதிக யெரம் கொண்டவைகளாய் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு தொழிற்சாலையின் உலைக்கு பிரத்தேக வேகம் கொண்ட காற்றின் உட்பாயம் (influx), உலையை நோக்கிய காற்றின் அதிகக் கவர்ச்சி முதலியவை தேவைப்படுகின்றன. அதிக உயரம் கொண்ட புகை போக்கியின் உதவியால் இது சாதிக்கப்படுகிறது.

எடை சிறிதேனும் செயல்படாத ராக்கெட்டினுள், சலனம் இல்லாமையினால், தீக்குச்சிகள், விளக்குகள் வாயு விளக்குகள் ஆகியவற்றை உபயோகிப்பது சாத்தியமாவதில்லை. எரிதலின் முடிவில் ஏற்படும் உற்பத்திப் பொருட்கள் சுவாலையை அடர்த்தணைத்துக் கொள்கின்றன.

காற்று ஒரு நல்ல வெப்பக் கடத்தி அல்ல. காற்றின் வெப்பக் காப்புப் பண்புகளை முழுவதுமாகச் செயலற்றுவிடச் செய்யும் சலனத்தை —வெப்பக் காற்றும் குளிர் காற்றும் ஒன்றோடொன்று கலப்பதை—நாம் தவிர்த்தால் காற்றின் உதவியால் நாம் வெப்பத்தைப் பாதுகாக்க முடிகிறது.

பலவகைப்பட்ட நுண் துளை அல்லது நுண்ணிழைகளைக் கொண்ட பொருட்களை உபயோகிப்பதால் சலனத்தைத் தவிர்ப்பது சாத்தியமாகிறது. இத்தகைய பொருட்களின் உள்ளே காற்று நுழைவது கடினமாயிருக்கிறது. இவ்வகையைச் சேர்ந்த எல்லாப் பொருட்களும் நல்ல வெப்பக் காப்பான்களாகும். காற்றின் ஒரு அடுக்கை மட்டுமே தன் வசம் கொண்டிருக்கும் இவற்றின் திறமைக்காக நாம் நன்றி சொல்ல வேண்டும். ஆனால் நுண்ணிழைகள் அல்லது நுண் துளையாலான சுவர்கள் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் பொருட்களின் வெப்பக் கடத்துகை மிகக் குறைவானதாக இருக்க முடியாது.

மயிராலான ஒரு நல்ல வெளி ஆடை, கூடுமான அளவு அதிக நுண்ணிகளைக் கொண்டிருக்கும் அடர்த்தியான விலங்கின் மென்மயிரால் செய்யப்படுகிறது. மிகவும் மெல்லியதான நுண்ணிழைகளைக் கொண்ட தூவிகள், அரை கிலோகிராமுக்கும் குறைவான எடையைக் கொண்டிருக்கும் கூடேற்றும் தூங்கும் பைகள் செய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பத்து கிலோகிராம்களின் மடங்குகளிலான எடையைக் கொண்ட மென்பஞ்சுறைகள் தன் வசம் வைத்திருக்கும் அதே அளவு வெப்பத்தை அரை கிலோகிராம் எடையைக் கொண்டிருக்கும் இத்தூவி தன் வசம் வைத்திருக்க முடியும்.

சலனத்தைக் குறைப்பதற்காக இரட்டை ஜன்னல் சட்டங்கள் அமைக்கப்படுகின்றன. அறையினுள்ளே நடை

பெறும் காற்றடுக்குகளின் கலப்பில் கண்ணுடிகளுக்கிடையே அமைந்திருக்கும் காற்று பங்கு கொள்வதில்லை.

இதற்கு மாருக, காற்றின் ஒவ்வொரு இயக்கமும் கலத்தலைத் தீவிரப்படுத்தி வெப்பம் பரவுதலை அதிகமாக்குகிறது. இதனுல்தான், வெப்பம் வேகமாக வெளியே செல்ல வேண்டும் என்று நாம் விரும்பினுல், நாம் நம்மை விசிறிக் கொள்கிருேம், அல்லது காற்ருேட்டப் பலகணியைத் திறக்கிருேம். காற்றுக் காலத்தில் குளிர்ச்சியடையச் செய்வதும் இதுவே. ஆனுல் காற்றின் வெப்பநிலை நம் உடலின் வெப்பநிலையைக் காட்டிலும் அதிகமாயிருந்தால், கலத்தல் எதிர்விளைவைக் கொடுக்கிறது. காற்று வெப்பக் காற்றலை போன்று வீசுகிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு சூடேற்றப்பட்ட நீராவியை, கூடுமான அளவு அதிக வேகமாகப் பெறுவதிலேயே ஒரு நீரவிக் கொதிகலன் சம்பந்தப்பட்ட பிணக்கு அமைந்திருக்கிறது. ஈர்ப்புப் புலத்தில் நடைபெறும் இயல்பான சலனம், இதற்குப் போதுமானதாக இல்லை. ஆகவே வெப்பமான, தண்ணீர் அடுக்குகளும் குளிர்ந்த தண்ணீர் அடுக்குகளும் கலப்பதற்கு வழிவகை செய்யும், தண்ணீர், நீராவி முதலியவற்றின் தீவிரமான காற்ருேட்டத்தை ஏற்படுத்துவதுதான் கொதிகலனை அமைப்பதன் அடிப்படை பிரச்சினைகளுள் ஒன்ருகும்.

பன்னிரண்டு

பொருளின் நிலைகள்

இரும்பு ஆவியும் திடக் காற்றும்

இது, வார்த்தைகளின் ஒரு விநோதமான சேர்க்கை அல்ல:வா? ஆயினும் இது எவ்விதத்திலும் அர்த்தமற்றது அல்லஇரும்பு ஆவியும் திடக் காற்றும் இயற்கையில் அமைந் திருக்கின்றன; ஆனல் இயல்பான சூழ்நிலைகளின் கீழ் அல்ல.

ஆனல் இங்கு நாம் குறிப்பிடும் சூழ்நிலைகள் யாவை? வெப்பநிலை, அழுத்தம் என்னும் இரு சூழ்நிலைகளாலேயே ஒரு பொருளின் நிலை தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

சார்பாகச் சிறிதளவே மாறுந்தன்மையுடைய சூழ்நிலை களின் கீழ் நமது வாழ்க்கை தொடர்கிறது. காற்றழுத்தம், ஒரு வளியழுத்தத்தின் மதிப்பிலிருந்து (1 கி.கி.வி/செ.மீ^{2}) ரல சதவீதங்கள் மாறுதலடைகின்றன; மாஸ்கோவுக்கு அரு கில், காற்றின் வெப்பநிலை—30லிருந்து 30 வரையிலான இடைவெளியில் அமைந்திருக்கிறது; சாத்தியமாகும் மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையைப் பூச்சியம் என எடுத்துக் கொள் ளும் மெய் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையில், இவ்விடை வெளி நம் மனதில் அழமாகப் பதிவதில்லை: 240—300K இது சராசரி மதிப்பில் $\pm 10\%$ ஆக மட்டுமே இருக்கிறது.

இவ்வியல்பான சூழ்நிலைகளுக்கு நாம் பழக்கப்பட்டு விட் டோம் என்பது இயற்கையே! ஆகவேதான், ''இரும்பு ஒரு திடப் பொருளாகும். காற்று ஒரு வாயுவாகும்'' என்ற

சாதாரண உண்மைகளை நாம் கூறும் பொழுது ''இயல்பான சூழ்நிலைகளின் கீழ்'' என்பதைக் கூற மறந்து விடுகிறோம்.

இரும்பு சூடேற்றப்பட்டால், அது முதலில் உருகிப் பின்னர் ஆவியாகிறது. காற்றைக் குளிரச் செய்தால், அது முதலாவதாக திரவ நிலையை அடைந்த பின்னர் உறைகிறது.

இரும்பு ஆவி, திடக் காற்று முதலியவைகளை வாசகர்கள் ஒரு பொழுதும் பார்க்க நேரிடாவிட்டாலும் வெப்பநிலையின் மாற்றத்தால், எந்தப் பொருளையும் திட, திரவ அல்லது வாயு நிலையில் அல்லது இன்னொரு விதமாகக் கூறப்படுவது போன்று, ஒரு திட, திரவ அல்லது வாயுக் கட்டத்தில் பெறுவது சாத்தியமானதே என்பதை ஒவ்வொரு வாசகரும் எளிதில் நம்பக் கூடும்.

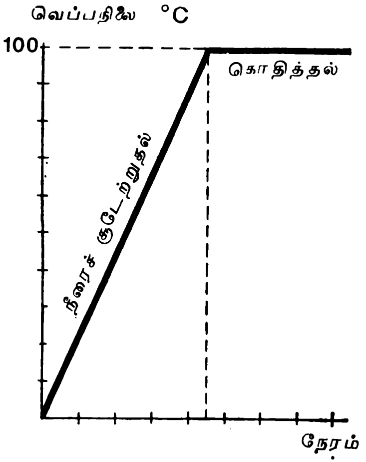
பூமியில் வாழ்க்கைக்கு அத்யாவசியமாகத் தேவைப்படுகிற பொருளை வாயுவாகவும் திரவமாகவும் திடப்பொருளாகவும் ஒவ்வொருவரும் பார்த்திருக்கக் கூடுமானதால்' இதை நம்புவது எளிதாயிருக்கிறது. நாம் உண்மையில் தண்ணீரைப் பற்றியே இங்குக் குறிப்பிடுகிறோம்.

ஆனால் எந்தச் சூழ்நிலைகளின் கீழ் ஒரு பொருள் ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொரு நிலைக்கு மாற்றமடைகிறது?

கொதித்தல்

தேநீர் கொதிகலத்தில் ஊற்றப்பட்டிருக்கும் தண்ணீரினுள் வெப்பநிலைமானியை இறக்கி மின்சார அடுப்பை முடுக்கிவிட்டு, வெப்பநிலைமானியில் பாதரசத்தைக் கவனித்தால் கீழ்வருவனவற்றை நாம் காண்கிறோம்: பெரும்பாலும் உடனேயே பாதரச மட்டம் மேல்நோக்கி ஏறுகிறது. இப்

பொழுது இது 90°, 95° ஆக இருந்து, முடிவில் 100° ஆக இருக்கிறது. தண்ணீர் கொதிக்க ஆரம்பிக்கிறது; உடனிகழ்வாக, பாதரச மட்டம் ஏறுவது நின்றுவிடுகிறது. ஏற்கனவே பல நிமிடங்களாகத் தண்ணீர் கொதித்துக் கொண்டிருக்கிறது. ஆனால் பாதரச மட்டம் நிலையாக இருக்கிறது. தண்ணீர் முழுவதும் கொதித்து முடிந்தால் ஒழிய வெப்பநிலை மாறாது (படம் 97).



படம் 97

ஆனால் தண்ணீரின் வெப்பநிலை மாறாமலிருந்தால், வெப்பம் எதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது? இதன் பதில் வெளிப்படையாகத் தெரிகிறது. தண்ணீரை நீராவியாக மாற்றும் செயல்முறைக்கு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது.

ஒரு கிராம் தண்ணீரின் ஆற்றலையும் இதனின்றும் உண்டாக்கப்பட்ட 1 கிராம் நீராவியின் ஆற்றலையும் நாம் ஒப்பிடுவோம். தண்ணீர் மூலக்கூறுகளைக் காட்டிலும் நீராவியின் மூலக்கூறுகள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று அதிகத் தூரத்திலிருக்குமாறு பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன. இதனால் தண்ணீரின் நிலையாற்றல், நீராவியின் நிலையாற்றலிலிருந்து வேறுபட்டிருக்கும் என்பது தெரியவருகிறது.

கவரும் துகள்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கும் பொழுது, அவற்றின் நிலையாற்றல் குறைகிறது. ஆகவே, நீராவியின் ஆற்றல் தண்ணீர் ஆற்றலைவிட அதிகமானதாயிருக்கிறது. ஆகவேதான் தண்ணீர், நீராவியாக மாற்றமடைவதற்கு

ஆற்றல் தேவையாயிருக்கிறது. இக்கூடுதல் ஆற்றலை மின் சார அடுப்புதான், தேநீர் கொதி கலத்தில் கொதித்துக் கொண்டிருக்கும் தண்ணீருக்குக் கொடுக்கிறது.

தண்ணீரை நீராவியாக மாற்றமடையச் செய்வதற்குத் தேவையான ஆற்றல் ''ஆவியாதலின் வெப்பம்'' (heat of vaporisation) என அழைக்கப்படுகிறது. ஒரு கிராம் தண்ணீரை நிராவியாக மாற்றமடையச் செய்வதற்கு 539 கலோரிகள் அளவுள்ள வெப்பம் தேவைப்படுகிறது (இம் மதிப்பு 100°C என்ற வெப்பநிலைக்கு உரியது).

1கிராம் தண்ணீருக்கும் 539 கலோரிகள் பயன்பட்டால், தண்ணீரின் ஒரு கிராம் மூலக்கூற்றுக்கு $18 \times 539 \simeq 9700$ கலோரிகள் கொடுக்கப்பட வேண்டும். இந்த அளவு வெப்பம், மூலக்கூற்றிடைப் பிணைப்புகளை (intermolecular bonds) துண்டிப்பதில் செலவழிக்கப்படுகிறது.

இந்த எண்மதிப்பை உள்மூலக்கூற்றிடைப் பிணைப்புகளை (intramolecular bonds) துண்டிப்பதற்குத் தேவையான வேலையின் அளவுடன் நாம் ஒப்பிடுவோம். நீராவியின் ஒரு கிராம் மூலக்கூற்றை அணுக்களாக உடைப்பதற்கு ஏறக்குறைய 220.000 கலோரிகள், அதாவது மேலே குறிப்பிட்டதைப் போன்று 25 மடங்குகள் அதிக ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. ஒரு மூலக்கூற்றில் அடங்கியிருக்கும் அணுக்களை ஒன்ருகச் சேர்த்துப் பிணைந்திருக்கும் விசைகளுடன் ஒப்பிடும் பொழுது, மூலக்கூறுகளை ஒன்ருேடான்று பிணைத்திருக்கும் விசைகள் தளர்ந்து காணப்படுகின்றன என்பதை இது தெளிவாக நிரூபிக்கிறது.

கொதிநிலை, அழுத்தத்தின் மீது கொண்டுள்ள சார்பு

தண்ணீரின் கொதிநிலை 100°C க்குச் சமமாயிருக்கிறது. எந்த இடத்திலும் எந்தச் சூழ்நிலையிலும் தண்ணீர்

$100^\circ C$ ல்தான் எப்பொழுதும் கொதிக்கும் என்பது தண்ணீரின் இயல்பான பண்பாகும் என நாம் நினைக்கக் கூடும்.

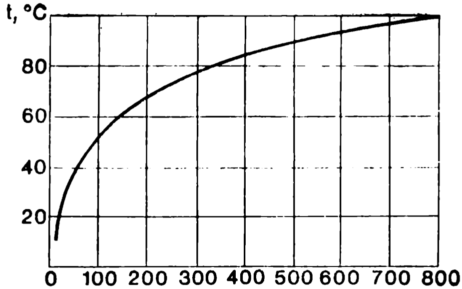
ஆனால் இது உண்மையல்ல. மலைகளின் மீது மிக உயரத்தில் வசிக்கும் மக்கள் இதைப் பற்றி நன்கு அறிந்திருக்கிறார்கள்.

''எல்ப்ருஸ்'' மலையின் உச்சிக்கு அருகில் ஒரு சுற்றுலாச சிறுகுடிலும் ஒரு அறிவியல் நிலையமும் அமைந்திருக்கிறது. புதுப் பயிற்சியாளர்கள், கொதி நீரில் முட்டையை வேக வைப்பது எவ்வளவு கடினமாயிருக்கிறது? என்பதைக் கண்டு சில வேளைகளில் வியப்படைகின்றனர்; அல்லது கொதி நீர் சுடு புண்ணை உண்டாக்குவதில்லையே! ஏன் என ஆச்சரியம் கொள்கின்றனர். எல்ப்ருஸ் மலையின் உச்சியில் தண்ணீர் $82^\circ C$ல் கொதிக்கிறது என்பது அவர்களுக்குச் சுட்டிக் காட்டப்பட்டு, இத்தகைய நிகழ்ச்சிகள் விளக்கிக் கூறப்படுகின்றன.

ஆனால் இந்நிலைமைக்குக் காரணமாயிருப்பது எது? ''கொதித்தல்'' என்னும் இயற்பாட்டுடன் குறுக்கிடும் இயற்பியல் காரணிகள் எவை? கடல் மட்டத்திற்கு மேல் அமைந்திருக்கும் உயரத்தின் முக்கியத்துவம் என்ன என்ற கேள்விகளின் பதில்களை இங்குப் பார்ப்போம்.

திரவத்தின் மேற்பரப்பில் செயல்படும் அழுத்தம்தான் இவ்வியற்பியல் காரணியாக அமைகிறது. நாம் கூறியவற்றின் செல்லுபடியாகும் தன்மையைத் தணிக்கை செயல்வதற்காக மலை உச்சிக்கு ஏறிச் செல்ல வேண்டியது அவசியம் இல்லை.

சூடேற்றப்பட்டுக் கொண்டிருக்கும் தண்ணீரின் மேல் மணி ஜாடியை வைத்து, வெளியிலிருந்து உள்ளே அல்லது உள்ளிருந்து வெளியே காற்றைச் செலுத்தினால், அழுத்த அதிகரிப்பினால் கொதிநிலை உயர்த்தப்படுகிறது; அழுத்தக் குறை



படம் 98

விஞல் அது தாழ்த்தப்படுகிறது என்பதை நாம் உணர முடிகிறது.

760 மி. மீ பாதரச அளவுள்ள ஒரு திட்டமான அழு தத்தில் மட்டுமே தண்ணீர் 100°Cல் கொதிக்கிறது.

கொதிநிலே, அழுத்தத்தின் மீது கொண்டிருக்கும் சார்பைக் காட்டும் வரைபடம் படம் 98ல் விவரிக்கப்பட்டி ருக்கிறது. எல்ப்ருஸ் மலேயின் உச்சியில் அழுத்தம் 0.5 வளியழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. 82°C என்னும் கொதிநிலே இவ்வழுத்தத்துக்கு உகந்ததாய் இருக்கிறது.

ஆஞல் 10—15 மி.மீ பாதரச அழுத்தத்தில் தண்ணீ ரைக் கொதிக்கச் செய்யும் வெப்பமான வானிலேயில் நாம் நம்மைப் புது வலுவூட்டிக் கொள்ளுதல் சாத்தியமாகிறது. இத்தகைய அழுத்தங்களில் கொதிநிலே 10—15°C க்கு வீழ்ச்சியடைகிறது.

உறையும் தண்ணீரின் வெப்பநிலேயில் கூட நாம் கொதி நீரைப் பெற முடியும். இதற்காக நாம் அழுத்தத்தை 4.6 மி. மீ பாதரச அளவுக்குக் குறைக்க வேண்டியதிருக்கி றது.

தண்ணீரைக் கொண்டிருக்கும் மூடப்படாத பாத்திரத்தை மணி ஜாடியின் கீழ் வைத்து உள்ளிருக்கும் காற்றை வெளிச்

செலுத்தும் பொழுது, கவனத்தைக் கவரும் காட்சியை நாம் பார்க்க முடிகிறது. இச்செயல் தண்ணீரைக் கொதிக்கச் செய்கிறது. ஆனால் கொதித்தலுக்கு வெப்பம் தேவைப்படுமல்லவா இவ்வெப்பத்தை எங்கிருந்தும் பெற்றிருக்க முடியாது; ஆகவே தண்ணீர் அதன் சொந்த ஆற்றலை வெளியிட வேண்டியதிருக்கிறது. கொதி நீரின் வெப்பநிலை வீழ்ச்சியடைய ஆரம்பிக்கிறது, ஆனால் உள்ளிருந்து காற்று வெளிச் செலுத்தப்படுவதும் தொடர்ந்து நடைபெறுவதால், அழுத்தமும் குறைகிறது. ஆகவே கொதித்தல் தடைப்படுவதில்லை; தண்ணீர் தொடர்ந்து குளிர்ச்சியடைந்து, முடிவில் உறைந்துவிடும்.

இப்படிப்பட்ட குளிர்ந்த தண்ணீரின் கொதித்தல், உள்ளிருக்கும் காற்று வெளிச் செலுத்தப்படுவதன் விளைவால் மட்டும் நடைபெறுவதில்லை. உதாரணமாக, கப்பலில் திருகு இயக்குறுப்பு சூழலும் பொழுது, உலோகப் பரப்பைச் சுற்றி வேகமாக இயங்கும் நீரடுக்கில் அழுத்தம் வேகமாக வீழ்ச்சியடைகிறது. ஆகவே இவ்வடுக்கைச் சேர்ந்த தண்ணீர் கொதிக்கிறது. அதாவது நீராவி நிறைந்த பல குமிழிகள் இதில் தோன்றுகின்றன. இவ்வியற்பாடு, வெற்றிடம் ஏற்படுத்தல் (வெற்றிடம் என்னும் பொருள் கொண்ட ''கவஸ்''— "cavus"—என்ற லத்தீன் வார்த்தையிலிருந்து) என அழைக்கப்படுகிறது.

அழுத்தத்தைக் குறைப்பதனால் நாம் கொதிநிலையை இறக்குகிறோம். கொதிநிலையை ஏற்றுவதற்கு என்ன செய்ய வேண்டும்? நமது வரைபடத்தை ஒத்த மற்றொரு வரைபடம் இக்கேள்விக்குப் பதிலளிக்கிறது. 15 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தம் கொதித்தலைத் தாமதிக்கச் செய்ய முடியும். தண்ணீர் 200°Cல் மட்டும் கொதிக்க ஆரம்பிக்கும். 80 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தம் தண்ணீரை 300°Cல் கொதிக்கச் செய்கிறது.

இவ்வாறு ஒரு திட்டமான கொதிநிலை ஒரு திட்டமான அழுத்தத்துக்கு உரியதாய் இருக்கிறது. ஆனால் இவ்வுறுதிப் பாட்டைத் திரித்து, தண்ணீரின் ஒவ்வொரு கொதிநிலைக் கும் உரிய திட்டமான அழுத்தம் இருக்கிறது எனவும் நாம் கூறலாம். இவ்வழுத்தமே ''ஆவியழுத்தம்'' (vapour pressure) என அழைக்கப்படுகிறது.

கொதிநிலை அழுத்தத்தின் மீது கொண்டுள்ள சார்பை விவரிக்கும் வரைபடம் உடனிகழ்வாக ஆவியழுத்தம் வெப் பநிலையின் மீது சார்பாக விவரிக்கும் வரைபடமாகவும் இருக்கிறது.

வெப்பநிலை மாற்றத்தால் ஆவியழுத்தம் மிக வேகமாக மாறுகிறது என்பதை கொதிநிலை வரைபடத்தில் (அல்லது ஆவியழுத்த வரைபடத்தில்) குறிக்கப்பட்டிருக்கும் எண்கள் காட்டுகின்றன. 0°C (273K)ல் ஆவியழுத்தம் 4.6 மி. மீ பாதரச அளவுக்குச் சமமாயிருக்கிறது, 100°C (373K)ல் இது 760 மி. மீ பாதரச அளவுக்குச் சமமாயிருக்கிறது, அதாவது ஆவியழுத்தம் 165 மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கி றது. வெப்பநிலையை 0°C (273K) லிருந்து 273°C (546K)க்கு இரட்டிப்பு செய்யும் பொழுது, ஆவியழுத்தம் 4.6 மி.மீ பாதரச அளவிலிருந்து ஏறக்குறைய 60 வளிய ழுத்தங்களாகக் கூடுகிறது, அதாவது கிட்டத்தட்ட 10.000 மடங்குகள் அதிகரித்திருக்கிறது.

ஆகவே கொதிநிலை இதற்கு மாறாக அழுத்தத்தின் மாறு தலினால், மிக மெதுவாகவே மாறுதலடைகிறது. அழுத் தம் 0.5 லிருந்து 1 வளியழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் படியாக இரட்டிக்கப்படும் பொழுது, கொதிநிலை 82°C (355K) லிருந்து 100°C (375K)க்கு உயருகிறது. 1லிருந்து 2 வளியழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கும்படி இரட்டி புச் செய்தால் கொதிநிலை 100°C (373K) லிருந்து 120°C (392K)க்கு உயருகிறது.

நாம் இப்பொழுது பரிசீலித்துக் கொண்டிருக்கும் இதே வரைபடம் நீராவி தண்ணீராகக் குவிப்படைவதையும் விவரிக்கிறது.

நீராவியை இறுக்கமடையச் செய்வதன் மூலமாகவோ அல்லது குளிர்விப்பதன் காரணமாகவோ தண்ணீராக மாற்ற முடிகிறது.

கொதித்தலைப்போலவே குவிப்பு (condensation) நடைபெறும் பொழுதும் நீராவி தண்ணீராகவும் அல்லது தண்ணீர் நீராவியாகவும் முழுவதுமாக மாற்றமடையும் வரையிலும் வரைபடத்தின் மீது தண்ணீர் அல்லது நீராவியின் நிலையைக் குறிக்கும் புள்ளி அசையாமல் ஒரே இடத்திலேயே நிற்கிறது. இதை நாம் கீழ்வருமாறு விளக்கிக் கூறுகிறோம். நமது வரைபடத்தின் நிபந்தனைகளின் கீழ் மட்டுமே திரவம், ஆவி முதலியவற்றின் ஒருங்கே நிலை பெற்றிருத்தல் சாத்தியமாகிறது. மேலும், மூடப்பட்ட பாத்திரத்திலிருந்து வெப்பம் நீக்கப்பாமலிருந்தாலும் அல்லது அப்பாத்திரத்தினுள் வெப்பம் செலுத்தப்படாமலிருந்தாலும் அதிலிருக்கும் ஆவி, திரவம் முதலியவற்றின் அளவுகள் மாறுமலிருக்கின்றன. இத்தகையதொரு ஆவியும் திரவமும் சமநிலையில் இருக்கின்றன என நாம் குறிப்பிடுகிறோம். ஆவி அதன் திரவத்துடன் சமநிலையிலிருந்தால், அது தெவிட்டிய (saturated) ஆவி என அழைக்கப்படுகிறது.

கொதித்தல், குவிப்படைதல் முதலியவற்றின் வரைபடம் நாம் பார்ப்பது போலவே வேறொரு அர்த்தத்தையும் கொண்டிருக்கிறது. இது திரவம், ஆவி முதலியவற்றின் சமநிலையின் வரைபடமாகும். சமநிலையின் வரைபடத்தில் அமைந்திருக்கும் வளைகோடு, படத்தின் தளத்தை இரு பாகங்களாகப் பிரிவீடு செய்கிறது. வளைகோட்டின் மேலேயும் இடது பக்கத்திலும் (வெப்பநிலையின் ஏற்றத்தையும் அழுத்தத்தின் வீழ்ச்சியையும் குறிக்கும்) ஆவியின்

நிலையான கட்டத்தைக் குறிக்கும் பகுதி அமைந்திருக்கிறது. வளைகோட்டின் வலப்புறத்திலும் கீழ்ப்பகுதியிலும் திரவத்தின் நிலையான கட்டத்தைக் குறிக்கும் பகுதி அமையப் பெற்றிருக்கிறது.

ஆவி—திரவம் முதலியவற்றின் சமநிலை வளைகோடு, அதாவது கொதிநிலை, அழுத்தத்தின் மீது கொண்டுள்ள சார்பு அல்லது இதே போன்று ஆவியழுத்தம், வெப்பநிலையின் மீது கொண்டுள்ள சார்பைக் குறிக்கும் வளைகோடு ஏறக்குறைய எல்லாத் திரவங்களுக்கும் சர்வசமமாகவே இருக்கின்றன. சில திரவங்களில் இம்மாறுதல் சிறிது அதிகமாயும் இன்னும் சில திரவங்களில் சிறிது குறைவாயும் இருக்கிறது; ஆனால் வெப்பநிலை அதிகரிப்பினால், ஆவியழுத்தம் மிக வேகமாக அதிகரிக்கிறது.

''வாயு'', ''ஆவி'' என்ற சொற்களை ஏற்கனவே நாம் பலமுறை உபயோகித்திருக்கிறோம். இவ்விரு சொற்களும் ஏறக்குறைய ஒரு பொருட்பன்மொழிகளாகும். தண்ணீர்—வாயு என்பது தண்ணீர் ஆவி எனவும் ஆக்ஸிஜன் வாயு என்பது ஆக்ஸிஜன் திரவத்தின் ஆவி எனவும் நாம் கூறலாம். இருப்பினும், இவ்விரு சொற்களின் உபயோகத்தைப் பொறுத்தமட்டில் ஒரு பழக்கம் ஏற்பட்டிருக்கிறது. வெப்பநிலைகளின் ஒரு குறிப்பிட்ட குறுகிய நெருக்கத்துடன் நாம் பழக்கப்பட்டிருக்கிறபடியால், இயல்பான வெப்பநிலைகளில் வளியழுத்தத்தைவிட அதிகமான ஆவியழுத்தத்தைக் கொண்டிருக்கும் பொருட்களுக்கு ''வாயு'' என்ற சொல்லை நாம் பொதுவாக உபயோகப்படுத்துகிறோம். இதற்கு மாறாக, அறை வெப்பநிலையிலும் வளியழுத்தத்துக்குச் சமமான அழுத்தத்திலும் திரவ கட்டத்தில் அதிக நிலையாக இருக்கும் பொருளை ஆவி என நாம் குறிப்பிடுகிறோம்.

ஆவியாதல் (evaporation)

கொதித்தல் என்பது வேகமாக நிகழும் செயலாகும். சிறிது நேரத்துக்குப் பின்னர் கொதிக்கும் தண்ணீரில் சிறிதளவுகூட எஞ்சியிருப்பதில்லை; அது நீராவியாக மாற்றமடைகிறது.

ஆனால் வேறொரு இயற்பாடும் நிகழ்கிறது. இதன்படி, தண்ணீர் அல்லது இதர திரவங்கள் ஆவியாக மாற்றமடைகின்றன. இவ்வியற்பாடு ஆவியாதல் என அழைக்கப்படுகிறது. எந்த வெப்பநிலையிலும் எந்த அழுத்தத்திலும் ஆவியாதல் நடைபெறுகிறது. இயல்பான சூழ்நிலைகளில் அழுத்தம் 760 மி.மீபாதரச அளவுக்கு அருகிலிருக்கிறது. கொதித்தலைப்போலன்றி ஆவியாதல் மிக மெதுவாக நடைபெறும் செயலாகும். எடிக்ளோன் உள்ள புட்டியை நாம் மூடி வைக்க மறந்து விட்டால், சில நாட்களுக்குப் பின்னர் அப்புட்டி காலியாகத் தோன்றுகிறது. ஏந்துத் தட்டில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் தண்ணீர், நீண்ட நேரமானாலும் அதிலேயே தங்கியிருக்கிறது; ஆனால் கண்டிப்பாக எதாவது ஒரு நேரத்தில் இதுவும் வறண்டுதான் காணப்படும்.

ஆவியாதலின் செயல்முறையில் காற்று அதிகமான பங்கெடுத்துக் கொள்ளுகிறது. தண்ணீர் ஆவியாதலை இது தானாகத் தடுப்பதில்லை. திரவத்தின் மேற்பரப்பை மறைத்திருக்கும் மூடியை அகற்றிய உடனேயே, தண்ணீர் மூலக்கூறுகள் மிக அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் காற்று அடுக்கினுள் நகர்ந்து செல்ல ஆரம்பிக்கின்றன. இந்த அடுக்கில் நிலை பெற்றிருக்கும் ஆவியின் அடர்த்தி வேகமாக அதிகரிக்கிறது; குறுகிய காலத்திற்குள் இந்த அடுக்கில் ஆவியின் அழுத்தம், சுற்றுப்புற வெப்பநிலையில் தண்ணீரின் ஆவியழுத்தத்துக்குச் சமமாக அமைகிறது. மேலும், இந்த ஆவியழுத்தம் காற்றேயில்லாத சூழ்நிலையில் சரியாகத் தோன்றும் ஆவியழுத்தமாகவே இருக்கிறது.

ஆவி காற்றினுள் நுழைவதால், உண்மையில் காற்றின் அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது என்று அர்த்தமாகாது. தண்ணீரின் மேற்பரப்புக்கு மேலே அமைந்திருக்கும் இடத்தில் செயல்படும் மொத்த அழுத்தம் அதிகரிப்பதில்லை. ஆவியால் உண்டாக்கப்படும் இவ்வழுத்தத்தின் ஒரு பகுதி மட்டுமே அதிகரிக்கிறது; இதற்கு உகந்தாற்போல ஆவியால் காற்று இடப்பெயர்ச்சி அடைவதால், இவ்வழுத்தத்தில் காற்றின் பகுதி குறைவடைகிறது. காற்றுடன் கலக்கப்பட்ட ஆவி, தண்ணீருக்கு மேலே நிலைபெற்றிருக்கிறது; அதிக உயரத்துக்குச் சென்றால், ஆவியில்லாத காற்று அடுக்குகள் அமைந்திருக்கின்றன. தவிர்க்க முடியாததால் அவையும் ஆவியுடன் கலக்கின்றன. தண்ணீர் ஆவி தொடர்ந்து மேலடுக்குகளுள் நகர்ந்து செல்கின்றன. கீழடுக்குகளில் இவை அடைத்துக் கொண்டிருந்த இடங்களைத் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளைக் கொண்டிராத காற்று நிரப்புகிறது. ஆகவே தண்ணீருக்கு மிக அருகாமையில் அமைந்திருக்கும் அடுக்கினுள் தண்ணீர் மூலக்கூறுகள் புதிதாக நுழைவதற்கு எப்பொழுதும் வாய்ப்பு உண்டாக்கப்படுகிறது. தண்ணீர்ப் பரப்பில் தண்ணீர் ஆவியின் அழுத்தத்தை, அதன் ஆவியழுத்தத்தில் நிலைப்படுத்திக் கொண்டு, தண்ணீர் தொடர்ந்து ஆவியாகிறது. தண்ணீர் முழுவதுமாக ஆவியாகும் வரையிலும் இச்செயல்முறை தொடர்கிறது.

எடிக்ளோள், தண்ணீர் முதலியவற்றுடன் கூடிய உதாரணங்களுடன் நாம் விவாதத்தை ஆரம்பித்தோம். அவை வித்தியாசமான வேகங்களில் ஆவியாகின்றன என்பது நன்கு தெரிகிறது. ஈதர் (ether) மிகவும் அதிகமான வேகத்துடன் மறைகிறது. ஆல்கஹால் சிறிது வேகமாகவும் தண்ணீர் சிறிது மெதுவாகவும் ஆவிப்பு அடைகின்றன. அறை வெப்பநிலையில் இத்திரவங்களின் ஆவியழுத்தங்களின் ஆவியழுத்தங்களின் மதிப்புகளை ஒரு கையேட்டிலிருந்து நாம் தெரிந்து

கொண்டால், இவை ஏன் இவ்வாறு நடந்து கொள்கின்றன என்பதை நாம் உடனேயே புரிந்து கொள்ளலாம். இதன் மதிப்புகள் கீழ்வருமாறு: ஈதர்—437 மி.மீ, ஆல்கஹால்—44.5 மி.மீ, தண்ணீர்—17.5 மி.மீ பாதரச அளவுகள்.

ஆவியழுத்தம் அதிகமானல், பக்கத்துக் காற்றடுக்கில் அதிகமான ஆவி நிலைபெற்றிருக்கும். திரவமும் அதிக வேகமாக ஆவியாகும். வெப்பநிலை அதிகரிப்பதினுல் ஆவிய ழுத்தம் அதிகரிக்கும் என்பதை நாமறிவோம். சூடேற்றுவ தினுல் ஆவியாதலின் வேகம் அதிகரிக்கிறது, ஏன்? என்பது இப்பொழுது தெரியவருகிறது.

ஆவியாதலின் வேகத்தை ஏனைய வழிகளிலும் மாறுதல டையச் செய்வது சாத்தியமானதே. நாம் ஆவியாதலுக்கு உதவ விரும்பினுல், திரவத்திலிருந்து ஆவியை வேகமாக வெளியேற்ற வேண்டும். அதாவது காற்றுடன் கலப்பதை வேகப்படுத்த வேண்டும். சரியாக இதனுல்தான் திரவத்தின் மேல் காற்றை ஊதுவதனுல் ஆவிப்பு மிகவும் வேகப்படுத் தப்படுகிறது. தண்ணீர், சார்பாக நோக்கும் பொழுது, மிகச் குறைந்த ஆவியழுத்தத்தைக் கொண்டிருந்த போதி லும் காற்று வீச்சில் எந்துத் தட்டில் வைக்கப்பட்டால், தண்ணீர் சிறிது விரைவாக மறைந்துவிடுகிறது.

நீச்சல் வீரர் ஒருவர் தண்ணீரிலிருந்து வெளியே வந்த தும் காற்று வீசும் பொழுது, குளிர்ச்சியை உணர்கிருர், ஏன் என்பது இதனுல் தெரியவருகிறது. காற்று வீச்சு, ஆவியுடன் காற்று கலப்பதை வேகப்படுத்தி, அதனுல் ஆவியாதலின் வேகத்தை அதிகப்படுத்துகிறது. ஆனுல் நீச்சல் வீரரின் உடல் ஆவியாதலுக்கு அவசியமான வெப்பத்தை வெளியிடும் படியாக நிர்ப்பந்திக்கப்படுகிறது.

ஒருவரின் உணர்வு நிலை காற்றில் எவ்வளவு நீராவி கலந்திருக்கிறது என்பதைச் சார்ந்திருக்கிறது. வறண்ட காற்று ஈரப்பதமான காற்று முதலிய இரண்டுமே நாம்

விரும்பத்தக்கவை அல்ல. ஈரப்பதம் 60% க்குச் சமமாயிருந்தால், அது இயல்பானது எனக் கொள்ளப்படுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் நீராவியின் அடர்த்தி, தெவிட்டிய நீராவியின் அடர்த்தியில் 60% ஆக இருக்கிறது என்பதுதான் இதன் பொருளாகும்.

ஈரப்பதம் கொண்ட காற்று குளிர்விக்கப்பட்டால், இதில் அடங்கியிருக்கும் நீராவியின் அழுத்தம், முடிவில் இந்த வெப்பநிலைக்கான ஆவியழுத்தத்துக்குச் சமமாகிறது. மேலும் வெப்பநிலை குறைக்கப்படும் பொழுது, ஆவி தெவிட்டிய நிலையை அடைந்து தண்ணீராகக் குவிப்படைய ஆரம்பிக்கிறது. புல், இலைகள் முதலியவை காலைப்பனியால் ஈரமாக்கப்படுவது இவ்வியற்பாட்டின் விளைவேயாகும்.

20°Cல் தெவிட்டிய நீராவியின் அடர்த்தி ஏறக்குறைய 0.00002 கி/செ.மீ^{2} ஆக இருக்கிறது. காற்றில் கலந்திருக்கும் நீராவியின் அளவு இம்மதிப்பில் 60% அதாவது ஒரு கன சென்டிமீட்டருக்கு ஒரு கிராமில் நூற்றுயிரத்தில் ஒரு பகுதியைவிடச் சற்றே அதிகமாயிருக்கும் நீராவி அடங்கியிருக்கும் நிலைமை எல்லாராலும் விரும்பத்தக்கதாக அமைகிறது.

இது மிகச் சிறிய எண்ணுக இருந்தாலும் கூட, அறையினுள் அடங்கியிருக்கும் நீராவியைக் கணக்கிடும் பொழுது, இது பெரிய எண்ணுக இருக்கிறது. 12மீ^{2} பரப்பளவையும் 3மீ உயரத்தையும் கொண்ட சாதாரண அளவுகளைக் கொண்ட அறையில் ஏறக்குறைய ஒரு கிலோகிராம் தண்ணீர் தெவிட்டிய ஆவியின் நிலையில் அடங்கியிருப்பதற்கு வாய்ப்பு இருக்கிறது.

இதன் விளைவாகக் காற்று புகாமல் இழுக்கி மூடப்பட்ட அறையினுள் தண்ணீர் உள்ள பீப்பாய் ஒன்றைத் திறந்து வைத்திருந்தால், பீப்பாயின் கன அளவைச் சார்ந்திருக்காமல் ஒரு லிட்டர் தண்ணீர் ஆவியாக மாறுகிறது.

தண்ணீரை இம்முடிவைப் பாதரசத்தின் ஒத்த எண்களுடன் ஒப்பிடுவது நம் கவனத்தைக் கவருகிறது. இதே $20^\circ C$ வெப்பநிலையில் பாதசத்தின் தெவிட்டிய ஆவியின் அடர்த்தி 10^{-8} கி/செ.மீ^{3} ஆக இருக்கிறது.

நாம் சற்று முன்னர் குறிப்பிட்ட அளவுகளைக் கொண்ட அறையில் அதிகப் பட்சமாக 1 கிராம் பாதரசம் தெவிட்டிய ஆவி நிலையிலிருப்பதற்கு வாய்ப்பு இருக்கும்.

சாதாரணமாக, பாதரச ஆவி அதிக நச்சுத் தன்மையைக் கொண்டதாயிருக்கிறது. ஒரு கிராம் பாதரச ஆவி ஒருவரின் உடலைக் கடுமையாகத் தாக்க முடியும். பாதரசத்தை உபயோகிக்கும் பொழுது, ஒரு மிகச் சிறிய துளி கூடக் கீழே சிதறிவிடாதபடி பார்த்துக் கொள்ள வேண்டியது அவசியமாகும்.

மாறுதான வெப்பநிலை

வாயுவை நாம் எப்படித் திரவமாக மாற்றலாம்? கொதிநிலையின் வரைபடம் இக்கேள்விக்குப் பதிலளிக்கிறது. வெப்பநிலையைக் குறைப்பதன் மூலமாகவோ அல்லது அழுத்தத்தை அதிகரிப்பதன் மூலமாகவோ, வாயுவைத் திரவமாக மாற்ற முடிகிறது.

19ம் நூற்றண்டில் வெப்பநிலையைக் குறைப்பதில் எழும் சிக்கல்களைக் காட்டிலும் அழுத்தங்களை அதிகரிப்பதில் தோன்றும் சிக்கல்கள் எளிதானவைகளாகத் தோன்றின. இந்த நூற்முண்டின் தொடக்கத்தில் சிறந்த ஆங்கிலேய இயற்பியல் அறிஞராகிய மைக்கேல் பாரடே என்பவர், வாயுக்களை அவற்றிள் ஆவியழுத்தங்களின் மதிப்புகளுக்கு இறுக்குவதிலும் இம்முறையினுல் பல வாயுக்களைத் திரவங்களாக (குளோரின், கார்பன்—டையாக்சைடு போன்றவை) மாற்றமடையச் செய்வதிலும் வெற்றி கண்டார்.

ஆயினும், ஹைடிரஜன், நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் போன்ற

சில குறிப்பிட்ட வாயுக்களை எளிய முறையில் திரவ நிலைக்கு மாற்ற முடியவில்லை. அழுத்தத்தை எந்த அளவுக்கு அதிக ரித்தாலும் அவை திரவங்களாக மாற்றமடையவில்லை. ஆக்ஸிஜனும் ஏனைய வாயுக்களும் திரவ நிலையில் இருக்க முடியாது என ஒருவர் எண்ணியிருக்கக் கூடும். அவை உண்மையான அல்லது மாருத வாயுக்கள் எனக் கருதப்பட்டன.

ஆனால் உண்மையில் ஒரு முக்கியமான சூழ்நிலையைப் பற்றி உணரும் திறமை இல்லாமையால்தான் இத்தோல்விகள் ஏற்பட்டிருக்கின்றன.

சமநிலையில் இருக்கும் திரவத்தையும் ஆவியையும் நாம் பரிசீலிப்போம். கொதிநிலையின் அதிகரிப்பினாலும் அதனை ஒத்த அழுத்தத்தின் அதிகரிப்பினாலும் இவற்றிற்கு என்ன நிகழ்கிறது என்பதைப் பற்றி நினைத்துப் பார்ப்போம். இன்னொரு விதமாகக் கூறினால் கொதிநிலையின் வரைபடத்தில் அமைந்திருக்கும் வளைகோட்டின் மீது புள்ளி மேல்நோக்கி நகர்ந்து கொண்டிருப்பதாக நாம் கற்பனை செய்வோம். வெப்பநிலை ஏறும் பொழுது, திரவம் விரிவடைந்து, அதன் அடர்த்தி வீழ்ச்சியடைகிறது என்பது தெரியவருகிறது. ஆனால் ஆவியைப் பொறுத்தமட்டில் கொதிநிலையின் ஏற்றம் அதன் விரிதலுக்குச் சாதகமாக இருக்கிறது; ஆனால் நாம் ஏற்கனவே கூறியிருப்பது போல, தெவிட்டிய ஆவியின் அழுத்தம் கொதிநிலையைவிட அதிக வேகமாக அதிகரிக்கிறது. ஆகவே கொதிநிலை ஏற்றத்தினால் ஆவியின் அடர்த்தி வீழ்ச்சியடையாமல், மாருக, வேகமாக அதிக்கிறது.

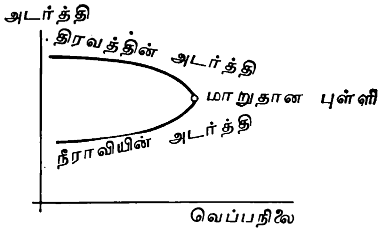
திரவத்தின் அடர்த்தி வீழ்ச்சியடைவதாலும் ஆவியின் அடர்த்தி அதிகரிப்பதினாலும் கொதிநிலை வரைபடத்தில் வளைகோட்டின் மீது மேல்நோக்கி நகர்ந்து சென்று, திரவம், ஆவி ஆகிய இரண்டின் அடர்த்திகளும் சமமாக இருக்கும் புள்ளியை நாம் கண்டிப்பாக அடைகிறோம் (படம் 99).

மாறுதான புள்ளி என அழைக்கப்படும் இம்முக்கியமான

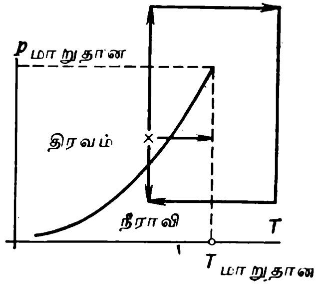
புள்ளியில் கொதிநிலை வளைகோட்டின் தொடர்கை நின்று விடுகிறது. வாயுவுக்கும் திரவத்துக்கும் இடையே அமைந்துள்ள எல்லா வேறுபாடுகளும் அடர்த்தியின் வித்தியாசத்துடன் சம்பந்தப்பட்டிருப்பதால், இம்மாறுதான புள்ளியில் திரவம், வாயு ஆகியவற்றின் பண்புகள் சர்வசமமானவைகளாய் இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு பொருளும் அதற்குறிய மாறுதான வெப்பநிலையையும் மாறுதான அழுத்தத்தையும் கொண்டிருக்கிறது. தண்ணீரின் மாறுதான புள்ளிக்குரிய வெப்பநிலை 374°C ஆகவும் அழுத்தம் 218.5 மடங்கு வளியழுத்தமாகவும் இருக்கின்றன.

மாறுதான வெப்பநிலைக்குக் கீழே நாம் வாயுவை இறுகச் செய்தால், இவ்விறுக்கத்தின் செயல்முறையைக் கொதிநிலையின் வளைகோட்டை வெட்டிச் செல்லும் அம்புக்குறியால் குறிக்கலாம் (படம் 100). ஆவியழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் அழுத்தத்தை அடையும் தருணத்தில் (கொதிநிலையின் வளைகோட்டுடன் அம்பு வெட்டும் புள்ளி) வாயு, திரவமாகக் குவிப்படையத் தொடங்குகிறது என்பதை இது குறிப்பால் தெரிவிக்கிறது. நமது பாத்திரம் ஒளி புகும் பொருளாக இருந்தால், இத்தருணத்தில் பாத்திரத்தின் அடியில் திரவ அடுக்கு ஒன்று அமைக்கப்படுவதன் ஆரம்ப நிலையை நாம் பார்க்கலாம். அழுத்தம் மாருமலிருந்தால், வாயு முழுவதும் திரவமாக மாறும் வரையிலும் திரவ அடுக்கு வளர்ச்சியடையும். இப்பொழுது மேலும் அதிகப்படியாக இறுக்க வேண்டுமானால், அழுத்தம் அதிகரிக்க வேண்டிதிருக்கிறது.

மாறுதான வெப்பநிலைக்கு மேலே வாயுவை இறுகச் செய்யும் பொழுது தோன்றுகிற சூழ்நிலை, இதனின்றும் முற்றிலும் மாறுபட்டிருக்கிறது. இறுக்கத்தின் செயல்முறை திரும்பவும் மேல்நோக்கிய அம்புக்குறியால் குறிப்பிடப்படுகிறது. ஆனால் இப்பொழுது அம்புக்குறி கொதிநிலை வளை



படம் 99



படம் 100

கோத்தை வெட்டுவதில்லை. ஆகவே இறுக்கத்தின் போது ஆவி குவிப்படைவதில்லை; ஆனால் தொடர்ந்து அதன் அடர்த்தி அதிகரிக்கிறது.

மாறுதான வெப்பநிலைக்கு மேல் வாயு—திரவ முகவிடை நிலை பெற்றிருத்தல் சாத்தியமானதல்ல. எதேச்சையான அடர்த்திகளுக்கு இறுக்கப்படும் பொழுது, உந்துத்தண்டுக்கு அடியில் ஒரே சீரான பொருள் ஒன்றைப் பார்க்கலாம்; இப்பொருளை ஒருவர் எப்பொழுதும் வாயு என்று அழைக்க வேண்டும்? எப்பொழுது திரவம் என அழைக்கலாம்? என்று கூறுவது கடினமாயிருக்கிறது.

திரவ நிலைக்கும் வாயு நிலைக்கும் இடையே கொள்கை ரீதியாக எவ்வித வேறுபாடும் இல்லை என்பதை மாறுதான புள்ளி என்று ஒன்று நிலை பெற்றிருத்தல் குறிப்பிடுகிறது.

இத்தகையதொரு மாற்றத்தின் பாதை படம் 100ல் காட்டப்பட்டிக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட திரவம் சிலுவைக் குறியால் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. அழுத்தத்தை நாம் சிறிது குறைத்தால் (கீழ்நோக்கி அமைந்திருக்கும் அம்புக்குறி) இது கொதிக்கும். வெப்பநிலையை சிறிது ஏற்றும் பொழுதும் (வலப்புறம்நோக்கி அமைந்திருக்கும் அம்புக்குறி) இது

கொதிக்கும். ஆனால் நாம் இவ்விரு வழிகளையும் விட்டு வேறு விதமாகச் செயல்படுவோம். திரவத்தின் அழுத்தத்தை மாறுதான அழுத்தத்தை விஞ்சும் அளவுக்கு நாம் அதைக் கடுமையாக அழுத்துவோம். திரவத்தின் நிலையைக் குறிக்கும் புள்ளி செங்குத்தாக மேல்நோக்கி ஏறுகிறது. பின்னர் நாம் திரவத்தைச் சூடேற்றுவோம். இச்செயல்முறை கிடைகோட்டினால் குறிக்கப்படும். இப்பொழுது மாறுதான வெப்பநிலைக்கு வலப்புறமாக நாம் சென்ற பின்னர் அழுத்தத்தை அதன் ஆரம்ப நிலையின் மதிப்புக்குக் குறைப்போம். இப்பொழுது நாம் வெப்பநிலையைக் குறைந்தால், மிகவும் தன்னியல்பான ஆவியை நாம் பெற முடியும். இதே திரவத்திலிருந்து இதை விட எளிய குறுகிய வழியின் மூலமாகவும் இதே ஆவியை நாம் பெற முடியும்.

ஆகவே மாறுதான புள்ளியை விட்டுவிட்டு அழுத்தத்தையும் வெப்பநிலையையும் மாற்றினால், திரவக் கட்டத்திலிருந்து தொடர்ச்சியாக நடைபெறும் திரிபின் மூலமாக ஆவியையும் ஆவியிலிருந்து திரவத்தையும் பெறுவது சாத்தியமாகிறது. இப்படியாகத் தொடர்ந்து நிகழும் திரிபுக்குக் கொதித்தலோ அல்லது குவிப்போ தேவைப்படுவதில்லை.

மாறுதான வெப்பநிலை என்று ஒன்று நிலைபெற்றிருப்பது அறியப்படாமல் இருந்ததால்தான் ஆக்ஸிஜன், நைட்ரஜன், ஹைடிரஜன் போன்ற வாயுக்களைத் திரவ நிலைக்கு மாற்றுவதற்கு மேற்கொண்ட முதல் முயற்சிகள் வெற்றி பெறவில்லை. இவ்வாயுக்கள் மிகவும் தாழ்ந்த மாறுதான வெப்பநிலைகளைக் கொண்டிருக்கின்றன: நைட்ரஜன் —147°C ஆக்ஸிஜன் —119°C ஹைடிரஜன் —240°C அல்லது 33°K. இவற்றில் சாதனையை ஏற்படுத்தியிருப்பது ஹீலியம் ஆகும். இதன் மாறுதான வெப்பநிலை 4.3°K க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இத்தகைய வாயுக்களைத் திரவக் கட்டத்துக்கு மாற்று

வது கீழ்வரும் ஒரே முறையினுல்தான் சாத்தியமாகிறது: இவற்றின் வெப்பநிலைகளை நாம் மேலே குறிப்பிட்டுக் காட்டியிருக்கும் மதிப்புகளுக்குக் கீழே தாழ்த்த வேண்டும்.

தாழ் வெப்பநிலைகளை அடைதல்

பல வழிகளில் வெப்பநிலையை அதிகமாகக் குறைக்க முடிகிறது. ஆனுல் எல்லா வழிகளிலும் பயன்படுத்தப்படும் தத்துவம் ஒன்றுகவே இருக்கிறது: நாம் குளிர்விக்க விரும்புகிற பொருள் அதன் உள்ளார்ந்த ஆற்றலைச் செலவிடும்படியாகக் கட்டாயப்படுத்தப்பட வேண்டும்.

ஆனுல் இதை எவ்வாறு செய்ய வேண்டும்? எங்கிருந்தும் வெப்பத்தைக் கொண்டு வந்து பயன்படுத்தாமலேயே திரவத்தைக் கொதிக்கச் செய்தல் நாம் மேலே குறிப்பிட்ட பல வழிகளில் ஒன்றுகும். இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானுல், நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருப்பது போலவே ஆவியழுத்தத்துக்குரிய முறையில் அழுத்தத்தைக் குறைக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. கொதித்தலுக்குத் தேவையான வெப்பம் திரவத்திலிருந்தே எடுத்துக் கொள்ளப்படும். ஆகவே திரவம், ஆவி ஆகியவற்றின் வெப்பநிலைகளும் வீழ்ச்சியடையும். அதுவும் இதே போன்று ஆவியழுத்தமும் குறைகிறது. இதன் விளைவாகக் கொதித்தல் தடையின்றி வேகமாக நடைபெற வேண்டுமானுல், திரவத்தைக் கொண்டிருக்கும் பாத்திரத்திலிருந்து தொடர்ச்சியாகக் காற்றை வெளியேற்ற வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது.

இருப்பினும் இம்முறையினுல் உண்டாக்கப்படும் வெப்பநிலையின் வீழ்ச்சி, வரம்பை எட்டுகிறது. இம்முறையின் முடிவில் ஆவியழுத்தம் ஒதுக்கிவிடக் கூடிய அளவுக்குக் குறைந்து விடுகிறது. இதனுல் மிகவும் ஆற்றல் வாய்ந்த பம்புகளால்கூடத் தேவையான அழுத்தத்தை உண்டாக்க முடியவில்லை.

மேலும் வெப்பநிலையைத் தொடர்ந்து வீழ்ச்சியடையச் செய்ய வேண்டுமானால், ஏற்கனவே கிடைத்துள்ள திரவத்தின் உதவியுடன் வாயுவைக் குளிர்வடையச் செய்து இதை விடக் குறைந்த கொதிநிலையைக் கொண்ட திரவமாக மாற்ற வேண்டும். இப்பொழுது இரண்டாவது பொருளுடன் காற்றை வெளியேற்ற செயல்முறையைத் திரும்பவும் செய்தால், தாழ் வெப்பநிலைகளைப் பெற முடியும். தேவை ஏற்படும் பொழுது, தாழ் வெப்பநிலைகளை அடைவதற்கான இத்தகைய ''தொடர் முறை'' (cascade method) நீட்டிக்கப்படலாம்.

சரியாக இம்முறையில்தான் சென்ற நூற்றாண்டின் இறுதியில் இப்பிணக்கு கையாளப்பட்டது. வாயுக்களைத் திரவமாக மாற்றுதல் பல படிகளில் செய்யப்பட்டது: முறையே —103, —183, —196, —256°C என்ற கொதிநிலைகளைக் கொண்ட எதிலின் (ethylene) ஆக்ஸிஜன், நைட்ரஜன், ஹைடிரஜன் ஆகிய வாயுக்கள் அருத்தடுத்து திரவங்களாக மாற்றப்பட்டன. ஹைடிரஜன் திரவ நிலையில் கிடைக்கும் பொழுது, மிகத் தாழ்ந்த வெப்பநிலையில் (—267°C) கொதிக்கும் இயல்புடைய திரவ ஹீலியத்தையும் நாம் பெற முடியும். மேலே குறிப்பிட்டிருக்கும் திரவங்களின் வரிசையில் வலப்புறம் அமைந்திருக்கும் திரவத்தைப் பெறுவதற்கு அதன் இடப்புறத் திரவம் உதவியாயிருக்கிறது.

தொடர் முறையின் மூலம் குளிர்வித்தல் கிட்டத்தட்ட நூறு வருடங்கள் பழமையானது. இம்முறையினால் 1877ம் ஆண்டில் காற்று திரவக் கட்டத்தில் பெறப்பட்டது. 1884—1885 ஆண்டுகளில் முதன் முதலாக ஹைடிரஜன் திரவ நிலையில் பெறப்பட்டது. முடிவாக ஹீலியத்தைத் திரவ நிலையில் பெறும் சிறிது கடினமான செயல் மேலும் இருபது ஆண்டுகள் கழித்த பின்னரே முயற்சி செய்யப்பட்

டது. மிகத் தாழ்ந்த மாறுதான வெப்பநிலையைக் கொண்ட பொருளாகிய ஹீலியம், ஹாலந்தில் உள்ள லெய்டன் என்னுமிடத்தில் 1908ம் ஆண்டு ஹெய்க் காமர்லிங்க் ஒன்ஸ் என்பவரால் திரவ நிலைக்குக் கொண்டு வரப்பட்டது. இம் முக்கிய அறிவியல் சாதனையின் எழுபதாவது ஆண்டு விழா உலகம் முழுவதும் கொண்டாடப்பட்டது.

பல வருடங்கள் வரையிலும் லெய்டனில் அமைந்திருக்கும் ஆய்வகம்தான் ஒரே தாழ் வெப்பநிலை ஆய்வகமாக இருந்தது. ஆனால் இன்று தொழில் நுணுக்கத் தேவைகளுக்காகத் திரவக் காற்றை உற்பத்தி செய்யும் தொழிற்சாலைகளைக் கணக்கில் சேர்க்காமல் இத்தகைய பத்து ஆய்வகங்கள் பல நாடுகளில் இருக்கின்றன.

தாழ் வெப்பநிலையை உருவாக்குவதில் தொடர் முறை இப்பொழுது மிக அரிதாகவே உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. தொழில் நுணுக்க முழு நிறை கருவி கல அமைவுகளில் வெப்பநிலையைக் குடைப்பதற்காக வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலைக் குறைப்பதற்கு மற்ற முறை கையாளப்படுகிறது. வாயு மிக வேகமாக விரிவடைந்து அதன் உள்ளார்ந்த ஆற்றலின் செலவினுல் வேலை செய்யும்படி நிர்ப்பந்திக்கப் படுகிறது.

உதாரணமாக, சில வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்துக்குக் காற்று இறுக்கப்பட்டு பாத்திரத்தினுள் புகும்படி செய்தால், உந்துத் தண்டை இடப்பெயர்ச்சி செய்வதில் அல்லது சுழலியைச் சுற்றுவதில் உபயோகப் படுத்தப்படும் வேலையை ஆற்றும் பொழுது, திரவமாக்கப் படும் அளவுக்கு இது திடீரெனக் குளிர்ச்சியடைகிறது.

உருளையிலிருந்து கார்பன்—டையாக்ஸைடு மிக அதிக வேகத்துடன் காற்று மண்டலத்தினுள் நுழைய அனுமதிக்கப்பட்டால், இது பனிக்கட்டியாக மாறும் அளவுக்குத் திடீரெனக் குளிர்ச்சி அடைகிறது.

திரவ நிலையிலிருக்கும் வாயுக்கள் தொழில் நுணுக்கவியலில் பரவலான உபயோகத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன. வெடி மருந்துகளிலும் ஜெட் இயந்திரங்களில் எரிபொருட் கலவையின் பகுதியாகவும் திரவ நிலையிலிருக்கும் ஆக்ஸிஜன் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

கீழே விவரிக்கப்பட்டிருப்பது போன்று காற்றைத் திரவமாக்குதல், காற்றில் அடங்கியிருக்கும் வாயுக்களைப் பிரித்தெடுப்பதற்காக நுணுக்கவியலில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

திரவக் காற்றின் வெப்பநிலை தொழில் நுணுக்கவியலின் பலதரப்பட்ட பிரிவுகளில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆனால் பல இயற்பியல் ஆய்வுகளை நடத்துவதற்குப் போதுமான அளவுக்கு இவ்வெப்பநிலை தாழ்ந்ததாக இல்லை. உண்மையில் சென்டிகிரேடு அளவீட்டு முறையில் அறிவிக்கப்படும் இது தொடர்பான வெப்பநிலைகளை நாம் அவற்றின் கெல்வின் அளவீட்டுமுறையின் மதிப்புகளுக்கு மாற்றினால், திரவக் காற்றின் வெப்பநிலை அறை வெப்பநிலையில் ஏறக்குறைய 1/3 மடங்காயிருப்பதை நாம் பார்க்கலாம். இயற்பியலில் இதைவிட அதிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை ஹைடிரஜன் வெப்பநிலைகள், அதாவது 14—20K அளவிலான வெப்பநிலைகளாகும். இவற்றுள்ளும் ஹீலியம் வெப்பநிலைகள் மிக முக்கியமானவையாகும். திரவ ஹீலியத்தை வெளியேற்றுவதன் மூலம் கிடைக்கப்பெறும் மிகத் தாழ்ந்த வெப்பநிலை 0.7K ஆகும்.

மெய்ச்சுழிக்கு மிக அருகாமையில் செல்லும் முயற்சியில் இயற்பியல் அறிஞர்கள் வெற்றியடைந்துள்ளனர். மெய்ச்சுழியைவிட ஒரு டிகிரியில் சில ஆயிரங்களில் ஒரு பகுதி அளவே அதிகமாயிருக்கும் வெப்பநிலைகள் தற்காலத்தில் கிடைக்கப்பெற்றிருக்கின்றன. ஆயினும் மிகவும் தாழ்ந்திருக்கும் இவ்வெப்பநிலைகள் மேலே விவரிக்கப்பட்ட முறை

களுடன் சிறிதும் ஒத்திராத முறைகளால் கிடைகப்பெற்றிருக்கின்றன.

மீக்குளிர்விக்கப்பட்ட ஆவிகளும் மீச்சூடேற்றிக்கப்பட்ட திரவங்களும்

ஆவி, கொதிநிலையைக் கடந்து செல்லும் பொழுது, குளிர்ப்படைந்து திரவமாக மாற்றப்பட வேண்டும். ஆயினும் ஆவி அதிகத் தூய்மையானதாக இருந்து, திரவத்துடன் தொடர்பு ஏற்படுத்திக் கொள்ளாமல் இருந்தால், வெகு நேரத்திற்கு முன்னர் ஏற்கனவே திரவமாக மாறியிருக்க வேண்டிய மீக்குளிர்விக்கப்பட்ட அல்லது மீத்தெவிட்டிய ஆவியின் வடிவில் இதைப் பெற முடிகிறது என்பது தெரியவருகிறது.

மீத்தெவிட்டிய ஆவி மிகவும் உறுதியற்ற நிலையில் இருக்கிறது. சில வேளைகளில் ஆவியைக் கொண்டிருக்கும் பாத்திரத்தை அசைத்தல் அல்லது அதனுள் ஒரு விதையை எறிதல் காலந்தாழ்த்தி நடைபெற வேண்டிய குவிப்பு உடனடியாகத் தொடங்குவதற்குப் போதுமானதாயிருக்கின்றன.

சிறிய அந்நிய துகள்களை உள்ளே சேர்ப்பதன் மூலமாக நீராவி மூலக்கூறுகள் குவிப்படைவது மிகவும் எளிதாக்கப்படுகிறது என்பதை அநுபவம் காட்டுகிறது. தூசு நிறைந்த காற்றில் நீராவி மீத்தெவிட்டிய நிலையில் அமைந்திருப்பதில்லை. புகை, நுண்ணிய துகள்களைக் கொண்டிருக்கிறபடியால், புகையை ஊதுவதன் மூலம் குவிப்பை ஏற்படுத்துவது சாத்தியமாகிறது. இத்துகள்கள் நீராவியினுள்ளே நுழையும் பொழுது, அவற்றைச் சூழ்ந்துள்ள மூலக்கூறுகளை ஒன்று சேர்ப்பதன் மூலம் இவை குவிப்பு மையங்களாக அமைகின்றன.

ஆகவே ஆவி உறுதியற்ற நிலையில் இருந்தாலும் கூடத் திரவ வாழ்க்கைக்கு உகந்த வெப்பநிலைகளில் நிலைபெற்றிருக்க முடிகிறது.

ஆனுல் இதே சூழ்நிலைகளின் கீழ் திரவம் ஆவிக்குரிய வெப்பநிலைகளில் நிலைபெற்றிருக்க இயலுமா? வேறுவித மாகக் கூறினுல், திரவத்தை மீச்சூடேற்றுவது சாத்தியமா னதாகுமா?

இது சாத்தியமாகிறது எனத் தெரியவருகிறது. இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானுல், திரவத்தின் மூலக்கூறுகள் அதன் மேற்பரப்பிலிருந்து விடுபட்டுச் செல்லாமல் தடுக்க வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. சுயதளத்தை அழுத்துவது இதை ஒரு மூலதத்துவ முறையில் சாதிக்கும் வழியாக அமைகிறது, அதாவது எல்லாப் பக்கங்களிலும் திடப் பொருள்களாலான சுவர்களால் இறுக்கப்படும்படியாகப் பாத்திரத்தில் திரவம் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இம்முறையினுல் திரவங்கள் பல டிகிரிகள் வரையிலும் வெற்றிகரமாக மீச்சூடேற்றப்படுகின்றன; அதாவது திரவத்தின் நிலையை விவரிக்கும் புள்ளியை அதன் கொதிநிலை வரைபடத்தின் வளைகோட்டின் வலப்புறமாக இடம் பெயரச் செய்ய முடிகிறது (படம் 100).

ஆவிக்குரிய பகுதியினுள் திரவத்தை இடம் பெயரச் செய்வதே மீச்சுடேற்றுதலாகும். ஆகவே அழுத்தத்தைக் குறைப்பதனுல் அல்லது வெப்பத்தைக் கொடுப்பதனுல், திரவத்தின் மீச்சூடேற்றுதல் நடைபெறுகிறது. இறுதியில் குறிப்பிட்ட முறையின் மூலமாக ஆச்சரியம் தரும் விளைவைப் பெற முடிகிறது.

வாயுக்கள் கரைந்த நிலையில் சேர்ந்திருப்பதிலிருந்தும் முழுவதுமாக விடுவிக்கப்பட்ட—இவ்வாறு செய்வது எளிதன்று—தண்ணீர் அல்லது ஏதாவது ஒரு திரவம் அதன் மேற்பரப்பு வரை எட்டியிருக்குமாறு உந்துத் தண்டைக்

கொண்டிருக்கும் பாத்திரம் ஒன்றினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. பாத்திரமும் உந்துத் தண்டும் திரவத்தால் நனைக்கப்படல் வேண்டும். நாம் இப்பொழுது நம்மை நோக்கி உந்துத் தண்டை இழுத்தால், உந்துத் தண்டின் அடியில் ஒட்டிக் கொண்டிருக்கும் தண்ணீரின் அடுக்கு அதற்கு அடுத்த அடுக்கை இழுக்கும், இவ்வடுக்கு இதற்குக் கீழே அமைந்திருக்கும் அடுக்கை இழுக்கும்—இதன்விளைவால் திரவம் நீட்சியுறுகிறது.

இறுதியில் திரவ ஸ்தம்பம் தொடர்ச்சியின்று துண்டிக்கப்பட்டு விடும் (சரியாக ஸ்தம்பத்தில்தாள் துண்டிப்பு ஏற்படும். ஆனால் உந்துத் தண்டிலிருந்து தண்ணீர் பிரிந்து வருவதில்லை). ஆனால் பரப்பளவில் ஒரு அலகின் மீது செயல்படும் விசை பத்து கிலோகிராம்கள் அளவை எட்டும் பொழுதுதான் இது நிகழ்கிறது. வேறுவிதமாகக் கூறினால், பத்து வளியழுத்தங்களின் அளவிலான எதிரழுத்தம் திரவத்தில் செயல்படுகிறது.

குறைந்த நேரழுத்தங்களின் போதும் கூட, பொருளின் ஆவிக் கட்டம் உறுதியுள்ளதாயிருக்கிறது. திரவம் எதிர் அழுத்தத்தைக் கொண்டிருக்கும்படியாகச் செய்யப்படலாம். மீச்சூடேற்றுதலுக்கு இதைவிட நல்ல உதாரணத்தை நாம் நினைத்துப் பார்க்க முடியவில்லை.

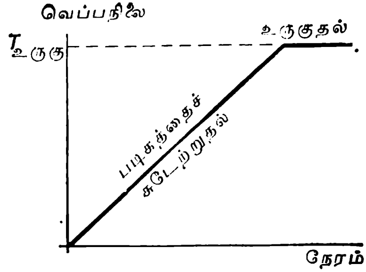
உருகுதல்

வெப்பநிலையின் தொடர்ச்சியான ஏற்றத்தைத் தாங்கிக் கொள்ளும் இயல்புடைய பொருள் எதுவும் இல்லை. கண்டிப்பாக ஏதாவது ஒரு நேரத்தில் திடத் துண்டு திரவமாக மாற்றப்படுகிறது; உண்மைதான், ஆனால் சில பொருட்களின் உருகுநிலை அடைவதில் நாம் வெற்றி காண முடியாது. இவற்றில் வேதியியல் சிதைவு ஏற்படுகிறது.

வெப்பநிலை அதிகரிக்கும் பொழுது, மூலக்கூறுகள் மென் மேலும் தீவிரமாக இயங்குகின்றன. இறுதியாக மிகத் தீவிரமாக அலையாடும் மூலக்கூறுகளுக்கிடையே நிலைபெற்றி ருக்கும் ஒழுங்கு முறைமையைப் பாதுகாப்பது, சாத்திய மாகாத நிலை எனத் தோன்றுகிறது. திடப்பொருள் உருகு கிறது. டங்க்ஸ்டேனே (tungsten) 3380°C என்னும் மிக உயர்ந்த உருகுநிலையைக் கொண்டிருக்கிறது. தங்கம், இரும்பு முதலியவை முறையே 1063°C, 1539°C ஆகிய வெப்பநிலைகளில் உருகுகின்றன. எளிதில் உருக்கப்படுகிற உலோகங்களும் இருக்கின்றன. பாதரசம் —39°C லேயே உருகும் என்பது நாம் நன்கறிந்ததே! உயிர்ப் பொருட்கள் உயர்ந்த உருகுநிலைகளைக் கொண்டிருப்பதில்லை. நாப்தலீன் 80°C லும் டொலுலின் —94.5°Cலும் உருகுகின்றன.

பொருளின் உருகுநிலையை அளவிடுதல் கடினமானதல்ல. அதிலும் சிறப்பாக, சாதாரண வெப்பநிலைமானியால் அள விடப்படும் வெப்பநிலை இடைவெளியினுள் பொருளின் உரு குநிலை அமைந்திருந்தால், இது மிக எளிதாயிருக்கிறது. உருகுநிலையைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டிய பொருளின் மீது முழு நேரமும் நம் பார்வையைச் செலுத்த வேண்டும் என் பது முற்றிலும் அவசியமற்ற செயலாகும். வெப்பநிலைமா னியின் பாதரச ஸ்தம்பத்தைக் கவனித்துக் கொண்டிருந் தாலே போதுமானதாகும் (படம் 101). உருகுதல் ஆரம்பிக் காமல் இருக்கும் பொழுதே, பொருளின் வெப்பநிலை அதிக ரிக்கிறது. பொருள் உருகத் தொடங்கிய உடனேயே வெப் பநிலையின் ஏற்றம் நின்று விடுகிறது. உருகுதலின் செயல் முறை முற்றிலும் நிறைவுபெறும் வரையிலும் வெப்பநிலை மாறிலியாய் இருக்கிறது.

திரவம் ஆவியாக மாற்றமடையும் பொழுது, நிகழ்வது போலவே, திடப்பொருள் திரவமாக மாற்றமடைவதற்கும் வெப்பம் தேவைப்படுகிறது. இதற்குத் தேவையான வெப்



படம் 101

பத்தின் அளவு, உருகுதலின் மறை வெப்பம் (latent heat of fusion) என அழைக்கப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கிலோகிராம் பனிக்கட்டி உருகுவதற்கு 80 கிலோகலோரிகள் அளவுள்ள வெப்பம் தேவைப்படுகிறது.

அதிக அளவு உருகு வெப்பத்தைக் கொண்டிருக்கும் பொருட்களுள் பனிக்கட்டியும் ஒன்ருகும். உதாரணமாக, பனிக்கட்டியின் உருகுதலுக்கு, அதே அளவு பொருண்மையுடைய ஈயத்தின் உருகுதலுக்குத் தேவையான ஆற்றலைப் போன்று 10 மடங்கு அதிக ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. உண்மையில் முழுமையான உருகுதலைப் பற்றியே நாம் பேசிக் கொண்டிருக்கிருேம். ஈயம், உருக ஆரம்பிப்பதற்கு முன்னதாக 327°C வெப்பநிலைக்குச் சூடேற்றப்பட வேண்டியது அவசியமாகும் என்ற உண்மையை நாம் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளவில்லை. பனிக்கட்டி கொண்டிருக்கும் அதிகமான உருகு வெப்பத்தின் விளைவாகத்தான் பனியின் உருதல் வெகு காலமாக நிகழ்கிறது. இதன் உருகு வெப்பம் 10 மடங்குகள் குறைவாக இருப்பதாகக் கற்பனை செய்யவும். ஒவ்வொரு வருடமும் இளவேனில் காலத்தின் போது, பனி உருகுதல் எண்ணிப் பார்க்க இயலாத அளவுக்குச் சேதங்களை உண்டாக்கக் கூடும்.

இவ்வாறு பனிக்கட்டியின் உருகு வெப்பம் மிக அதிக மானதாயிருக்கிறது; ஆனல் ஒரு கிலோகிராமுக்கு 540 கிலோகலோரிகள் அளவுடைய தண்ணீரின் ஆவியாதலின் வெப்பத்துடன் ஒப்பிடும் பொழுது, இது மிகக் குறைந்ததாய் (கிட்டத்தட்ட 7 மடங்குகள் குறைந்ததாகக் காணப்படுகிறது) தோன்றுகிறது. இவ்வேறுபாடு முற்றிலும் இயற்கையானதே! திரவத்தை ஆவியாக மாற்றும் பொழுது, ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வெகு தூரத்திலிருக்கும்படியாக அதன் மூலக்கூறுகளை நாம் பிரித்தெடுக்க வேண்டியதிருக்கிறது; ஆனல் திடப்பொருளை உருகச் செய்யும் பொழுது, ஒன்றிலிருந்து ஒன்று கிட்டத்தட்ட ஒரே தூரத்திலிருக்குமாறு மூலக்கூறுகளை அமையச் செய்து, அவற்றின் பரப்பீட்டின் ஒழுங்கை மட்டுமே நாம் நீக்க வேண்டியதிருக்கிறது. இரண்டாவது செயலுக்குக் குறைந்த வேலையே தேவைப்படுகிறது என்பது தெரியவருகிறது.

ஒரு திட்டமான உருகுநிலையைக் கொண்டிருப்பது படிகப் பொருட்களின் முக்கிய பண்பாகும். சரியாக இப்பண்பின் அடிப்படையில்தான் அவை படிக உருவிலாப் பொருட்கள் அல்லது கண்ணடிகள் என அழைக்கப்படும் ஏனைய திடப் பொருட்களிலிருந்தும் எளிதாக வேறுபடுத்திக் காட்டப்படுகின்றன. உயிரியக்கவியல் பொருட்களிலும் உயிரியல் உறுப்பமைதியற்ற பொருட்களிலும் கண்ணுடிகள் காணப்படுகின்றன. பலகணி கண்ணுடிகள், பொதுவாக, சோடியம் சிலிகேட்டு, கால்சியம் சிலிகேட்டு ஆகியவற்ருல் செய்யப்படுகின்றன. உயிரியக்கவியல் கண்ணுடி (இது ப்ளெக்ஸிக்ளாஸ் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது) பொதுவாக, சாய்வு மேசையின் மீது வைக்கப்படுகிறது.

படிகங்களுக்கு நேர்மாருக, படிக உருவிலாப் பொருட்கள் ஒரு திட்டமான உருகுநிலையைக் கொண்டிருப்பதில்லை. கண்ணுடி உருகுவதில்லை; ஆனல் மென்மையடைகிறது. கடி

னமான கண்ணுடித் துண்டு சூடேற்றப்படும் பொழுது, எளி தில் நீட்டப்படக் கூடிய அல்லது வளைக்கப்படக் கூடிய அளவுக்கு மென்மையாகிறது. உயர் வெப்பநிலையில் அது தன் எடையின் செயற்பாட்டினுல், வடிவத்தை மாற்றத் தொடங்குகிறது. மேலும் சூடேற்றப்படும் பொழுது, திண் மையான பிசிறத்தன்மையுடைய கண்ணுடியின் பொருண்மை அதைக் கொண்டிருக்கும் பாத்திரத்தின் வடிவத்தைப் பெறு கிறது. இப்பொருண்மை முன்முதலில் தேனைப் போன்று திண்மையானதாயிருக்கிறது; பின்னர் புளிச்சாறு போலாகி, இறுதியில் பெரும்பாலும் குறைந்த பிசிறத்தைக் கொண்ட தண்ணீரைப் போன்ற திரவமாக மாறுகிறது. உலகில் மிகச் சிறந்த சித்தத்தைக் கொண்டிருக்கும் நாம் திடப்பொருள், திரவக் கட்டத்தினுள் நுழைந்த திட்டமான வெப்பநிலை யைக் குறிப்பிட்டுக் கூற இயலவில்லை. கண்ணுடி, படிகப் பொருட்கள் ஆகிய இரண்டின் இயல்பமைப்புகளுக்கு இடை யேயான மூலதத்துவ வித்தியாசத்தில்தான் இதற்கான காரணங்கள் அமைந்திருக்கின்றன. மேலே குறிப்பிடப்பட் டது போலவே, படிக உருவிலாப் பொருட்களில் அணுக் கள் ஒழுங்கற்ற முறையில் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன. கண் ணுடியின் இயல்பமைப்பு திரவத்தின் இயல்பமைப்புடன் ஒத் திருக்கிறது. கடினமான கண்ணுடியின் மூலக்கூறுகள் ஏற் கனவே ஒழுங்கற்ற முறையில் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன. ஆகவே கண்ணுடியின் வெப்பநிலை ஏற்றம் அதன் மூலக்கூறு களின் அலைவுகளின் வீச்சை மட்டுமே அதிகப்படுத்தி, படிப் படியாக அவற்றின் இயக்கத்துக்கு வேண்டிய சுதந்திரத்தை மென்மேலும் அதிகரிக்கிறது. ஆகவேதான் கண்ணுடி படிப் படியாக மென்மையாகிறது: திட நிலையிலிருந்து திரவ நிலை குச் செல்லும் பொழுது, கண்டிப்பான ஒழுங்கு முறை மையின் பரப்பீட்டிலிருந்து அவற்றின் ஒழுங்கற்ற முறை மையின் பரப்பீட்டுக்குச் செல்லும் மாற்றத்தின் முக்கிய

பண்பாக அமைந்திருக்கும், கூரிய மாற்றத்தைக் கண்ணுடி வெளிக்காட்டுவதில்லே.

கொதிநிலேயின் வரைபடத்தைப் பற்றி விவாதிக்கும் பொழுது, திரவமும் ஆவியும் வெவ்வேறு பகுதிகளில், உறுதியற்ற நிலேயிலிருப்பினும், நிலேபெற்றிருக்க முடியும் என நாம் குறிப்பிட்டோம். ஆவி மீக்குளிர்விக்கப்பட்டு, கொதிநிலே வளேகோட்டின் இடப்புறமாக நகர்த்தப்பட முடிகிறது; இதே போன்று, திரவத்தை மீச்சுடேற்றி, கொதிநிலே வளே கோட்டின் வலப்புறமாகக் கொண்டு செல்லலாம்.

படிகம், திரவம் முதலியவற்றுக்கிடையே இதனே ஒத்த இயற்பாடு ஒன்று இருப்பது சாத்தியமானதா? இங்கு ஒப்புமை முற்றுப் பெருததாகத் தோன்றுகிறது.

படிகம் சூடேற்றப்படும் பொழுது, அது அதன் உருகுநிலேயில் உருக ஆரம்பிக்கிறது. படிகத்தை மீச்சூடேற்றுவதில் நாம் வெற்றியடைவதில்லே. இதற்கு மாருக, திரவத்தைக் குளிர்விக்கும் பொழுது, நாம் சில நடவடிக்கைகளே மேற்கொண்டால், மிக எளிமையாக நாம் உருகுநிலேயை வேகமாகக் கடந்து செல்ல முடியும். சில குறிப்பிட்ட திரவங்களே நாம் அதிக அளவுக்கு மீக்குளிர்விக்க முடிகிறது. மீக்குளிர்வித்தல் எளிதாயும் ஆனுல் படிகப் பெருக்குதல் கடினமானதாயும் அமைந்திருக்கும் சில திரவங்களும் இருக்கின்றன. இத்தகைய திரவம் குளிர்விக்கப்பட்டால், அது மென்மேலும் பிசிறத்தன்மையைப் பெற்று, முடிவில் படிகமாகாமல் கடினமாகிறது. கண்ணுடி இதைப் போன்றதே!

தண்ணீரை மீக்குளிர்விப்பதும் சாத்தியமாகிறது. மிகக் கடுமையான உறை பனிக்காலத்தின் போதும் கூடப் பனித்துளிகள் உறையாமலிருக்க முடிகிறது. மீக்குளிர்விக்கப்பட்ட திரவத்தினுள் பொருளின் படிகம் (படிகக்கரு) எறியப்பட்டால், படிகவாக்கம் உடனேயே தொடங்குகிறது.

இறுதியாக, பல வேளைகளில் குலுக்குதல் அல்லது தொடர்பற்ற நிகழ்ச்சி, இவற்றின் விளைவாக, காலந் தாழ்ந்த படிகவாக்கம் தொடங்குகிறது. உதாரணமாக, ரயில் பயணத்தை மேற்கொண்டதன் விளைவாகவே படிகக் கிளிசெரின் முதன்முதலாகக் கிடைக்கப் பெற்றது என்பது நாமறிந்ததே! மிக நீண்ட நாட்களாக வெளியில் கிடந்த பின்னர் கண்ணாடியும் படிகமாகத் தொடங்குகிறது (கண்ணாடியின் தன்மையை மாற்றுதல்).

படிகத்தை வளர்ப்பது எப்படி?

பொதுவாக, நுண்ணோக்கியின் மூலமாக மட்டுமே கண்ணுக்குப் புலனாகிற மிக நுண்ணிய படிகங்களாலேயே பெரும்பாலான பொருட்கள் ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன என நாம் குறிப்பிட்டோம். ஆனால் ஒற்றைப் படிகங்களைப் பொறுத்தமட்டில், அவை இயல்பான கண்களால் பார்க்கும் அளவுக்குப் பெரியவை; சமதளப் பக்கங்கள், கூரான விளிம்புகள், ஒழுங்கான, சமச்சீரான வடிவம் ஆகிய படிகத்தின் இத்தகைய வெளிப்புறப் பண்புகளைக் கொண்டுள்ளதாயும் இருக்கின்றன. இயற்கையில் அதிகமாகக் காணக் கிடைப்பதில்லை. இது எவ்வகையிலும் தற்செயலானதல்ல. உருகிய பொருள் குளிர்விக்கப்படும் பொழுது, சில பிரத்தேகமான நடவடிக்கைகளை மேற்கொண்டாலன்றி, ஒற்றைப் படிகம் உண்டாவதில்லை. பதிலாக, எப்பொழுதும் அழகான படிகப் பொருளே உண்டாகிறது என்பது உண்மையாயிருக்கிறது. உருகிய பொருளினுள் பல இடங்களில் உடனிகழ்வாகப் படிகங்களின் வளர்ச்சிகள் தொடங்கி, உருகிய பொருள் முழுவதும் படிப்படியாக அதிக எண்ணிக்கையிலான சிறு படிகங்களாக வளர்கின்றன என்ற உண்மையால் இது விளக்கிக் கூறப்படுகிறது.

நாம் ஒற்றைப் படிகத்தை வளர்க்க விரும்பினுல், ஒரு இடத்தில் மட்டும் படிக வளர்ச்சி ஏற்படுவதற்கான நட வடிக்கைகளை மேற்கொள்ள வேண்டியது அவசியமாயிருக்கி றது. ஆனுல் ஏற்கனவே பல படிகங்கள் வளரத் தொடங்கி விட்டால், அவற்றில் ஒன்று மட்டுமே வளர்வதற்குச் சாதகமான சூழ்நிலைகளை உருவாக்குவதற்கான நடவடிக்கை களை நாம் எடுக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது.

உதாரணமாக, உருகும் உலோகங்களின் படிகங்களை வளர்க்கும் பொழுது, நாம் என்னென்ன செய்கிருேம் என் பதைப் பற்றி நாம் இங்குப் பார்ப்போம். வெளிப்பக்க மாக நீட்டப்பட்ட அடிப்பாகத்தைக் கொண்ட கண்ணுடி யிஞலான சோதனைக் குழாயில் உலோகம் உருக்கப்படுகி றது. நிலைக்குத்தாக வைக்கப்பட்டிருக்கும் உருளை வடிவ அடுப்பினுள் நூலிஞல் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் சோத னைக் குழாய் மெதுவாகத் தாழ்த்தப்படுகிறது. நீட்டப்பட் டிருக்கும் அடிப்பாகம் படிப்படியாக அடுப்பிலிருந்தும் வெளி வந்து குளிர்ச்சியடைகிறது. படிகவாக்கம் தொடங்குகிறது. தொடக்கத்தில் பல படிகங்கள் அமைக்கப்படுகின்றன. ஆனுல் பக்கவாட்டில் வளரும் படிகங்கள் சோதனைக் குழா யின் சுவருக்கு எதிராக வளருவதால், அவற்றின் வளர்ச்சி யின் வேகம் குறைக்கப்படுகிறது. சோதனைக் குழாயின் அச் சின் திசையில், அதாவது உருகிய பொருண்மையின் மையத் தில் வளரும் படிகம் மட்டுமே வளர்ச்சிக்குச் சாதகமான சூழ்நிலையில் இருக்கிறது. சோதனைக் குழாய் மேலும் தாழ்த்தப்படும் பொழுது, தாழ் வெப்பநிலைப் பகுதிக்குள் வரும் பொருண்மையின் புதிய பாகங்கள் இத்தனிப் படிகத்தை ஊட்டுகிறது. ஆகவே, நுண்ணிய படிகங்கள் எல்லாவற்றுள்ளும் இது மட்டுமே நிலைக்கிறது; சோதனைக் குழாய் தாழ்த்தப்படும் பொழுது, படிகம் அதன் அச்சின் திசையில் தொடர்ந்து வளர்கிறது. முடிவில் உருக்கப்பட்ட

உலோகம் முழுவதும் ஒற்றைப் படிகத்தின் வடிவில் கடினமாகிறது.

ரூபி எனப்படும் ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும் படிகங்களை வளர்ப்பதிலும் இதே நுணுக்கம்தான் அடிப்படையாக அமைகிறது. ரூபியின் நேர்த்தியான பொடிகள் ஒரு அனல் கொழுந்தின் வழியே தொடர் இயக்கமாக ஊற்றப்படுகிறது. இதன் விளைவாக, பொடியாக்கப்பட்ட துகள்கள் உருகுகின்றன; குறைந்த பரப்பளவைக் கொண்டுள்ள ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும் ஆதாரத்தின் மீது சிறு துளிகள் விழுந்து, படிகங்களின் தொகுதியை உண்டாக்குகின்றன. ஆதாரத்தின் மீது மேலும் துளிகள் விழுகின்ற பொழுது, சின்னஞ்சிறிய படிகங்கள் அனைத்தும் வளர்கின்றன. ஆனால் இங்கும் விழுகின்ற துளிகளைப் பெறுவதற்கு மிகவும் சாதகமான நிலையில் இருக்கும் ஒன்று மட்டுமே நன்கு வளர்கிறது. பொதுவாக, கரைசல்களிலிருந்தும் படிகங்கள் அடிக்கடி வளர்க்கப்படுகின்றன. இப்படிகமாக்கத்தைப் பற்றி நாம் சற்று பின்னால் பார்ப்போம்.

ஆனால் பெரிய படிகங்கள் எதற்காகத் தேவைப்படுகின்றன?

தொழிற்சாலைகளிலும் அறிவியலிலும் பெரிய படிகங்கள் அடிக்கடி தேவைப்படுகின்றன. இவற்றுள் இயந்திரவியல் செயற்பாட்டை (உதாரணமாக, அழுத்தம்) மின்னழுத்தமாக மாற்றமடையச் செய்யும் முக்கியமான பண்பைக் கொண்டிருக்கும் செய்க்னெட் உப்பு, குவார்ட்ஸ் முதலிய படிகங்கள் தொழில் நுணுக்கவியலில் மிகவும் முக்கியம் வாய்ந்தவைகளாயிருக்கின்றன.

ஒளிவத் தொழிற்சாலைகளுக்குக் கால்சைட்டு, இந்துப்பு, புளுரைட்டு (fluorite) போன்றவற்றின் பெரிய படிகங்கள் தேவைப்படுகின்றன.

ரூபி, சபையர், இன்னும் சில விலை மதிப்புயர்ந்த கற்

கள் முதலியவற்றின் படிகங்கள் கைக்கடிகாரங்கள் தயாரிப்பதற்கு அவசியமாயிருக்கின்றன. சாதாரண கைக்கடிகாரங்களின் தனித்தனி இயங்கும் பகுதிகள் ஒரு மணி நேரத்தில் 20.000 அலைவுகள் வரையிலும் மேற்கொள்கின்றன என்பதே இதற்கான காரணமாகும். இத்தகைய அதிக வேகங்கள, அச்சுக்களின் முனைகள், தாங்கும் பகுதிகள் முதலியவை மிகவும் உயர்ந்த தரங்களைக் கொண்டிருக்க வேண்டியதன் அவசியத்தை ஏற்படுத்துகிறது. 0.07—0.15 மி.மீ அளவுடைய விட்டத்தைக் கொண்ட அச்சின் முனையைத் தாங்கும் பகுதிகளாக ரூபியை அல்லது சபையரை உபயோகப்படுத்தினால் தேய்மானம் சிறுமமாயிருக்கும். இப்பொருட்களின் செயற்கைப் படிகங்கள், நீடித்து உழைக்கக்கூடியனவாய் இருக்கின்றன. இவை இரும்பால் மிகச்சிறிய அளவே தேய்மானம் அடைகின்றன. இந்நோக்கத்திற்குச் செயற்கைக் கற்கள் அதே வகை இயற்கைக் கற்களைக் காட்டிலும் நல்லதெனக் கருதப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கதாகும்.

உலோகங்களின் பண்புகளைப் பற்றி ஆராய்ச்சி நடத்துவதற்காக இரும்பு, தாமிரம் போன்றவற்றின் பெரிய ஒற்றைப் படிகங்களைத் தயாரிக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது.

உருகுநிலையின் மீது அழுத்தத்தின் செயற்பாடு

அழுத்தம் மாற்றமடைந்தால், உருகுநிலையும் மாறுகிறது. கொதித்தலைப் பற்றிப் பார்த்துக் கொண்டிருக்கையில் இத்தகையதொரு முறைமையை நாம் சந்திக்க நேரிட்டது. அழுத்தம் அதிகமானால், கொதிநிலையும் ஏறுகிறது. ஒரு நியதியாக, உருகுதலுக்கும் இது உண்மையாயிருக்கிறது. இருப்பினும் பொது நிலையிலிருந்து பிறழ்ந்து நடக்கும் சிறு எண்ணிக்கையிலான சில பொருட்களும் இருக்கின்றன.

இவற்றின் உருகுநிலைகள் அழுத்தம் அதிகரிக்கும் பொழுது வீழ்ச்சியடைகின்றன.

திடப்பொருட்களில் அதிகப் பெரும்பான்மையானவை அவற்றின் திரவங்களைவிட அதிக அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கின்றன என்பதே அதற்கான அடிப்படைக் காரணமாகும். அழுத்தம் மாறும் பொழுது, பொது நிலை மீறி மாறும் உருகுநிலைகளைக் கொண்ட பொருட்களே, உதாரணமாக, தண்ணீர், இவ்விதிக்கு விலக்காக அமைகின்றன. பனிக்கட்டி, தண்ணீரைவிட இலேசாக இருக்கிறது. அழுத்தம் அதிகரிப்பினால் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை தாழ்த்தப்படுகிறது.

இறுக்கம் அடர்த்தி கூடிய நிலைக்கு வழிவகுக்கிறது. திடப்பொருள், திரவப் பொருளைக் காட்டிலும் அதிக அடர்த்தியைக் கொண்டிருந்தால், இறுக்கம் உறைதலுக்கு உதவி செய்கிறது; உருகுதலுக்குத் தடையாய் அமைகிறது. ஆனால் உருகுதல் இறுக்கத்தால் தடைப்பட்டால், அப் பொருள் திடப்பொருளாகவே இருக்கிறது என்றும் முன்னதாக இதே வெப்பநிலையில் இது உருகியிருக்கக் கூடும் என்பதும் அர்த்தமாகும், அதாவது அழுத்தம் அதிகமானால் உருகுநிலையும் ஏறுகிறது. பொது நிலை பிறழ்ந்த உதாரணத்தில் திரவம், திடப்பொருளைக் காட்டிலும் அதிக அடர்த்தியைக் கொண்டிருக்கிறது; ஆகவே அழுத்தம், திரவம் அமைவதற்கு உதவி செய்கிறது: அதாவது உருகுநிலையைத் தாழ்த்துகிறது.

உருகுநிலையின் மீது அழுத்தம் கொண்டுள்ள செயற்பாடு இதனை ஒத்த கொதித்தலுக்கான விளைவுடன் ஒப்பிடும் பொழுது, மிகச்சிறியதாய் இருக்கிறது. 100 கி.கி.வி/செ.மீ^{2} ஐவிட அதிக அளவிலான அழுத்த அதிகரிப்பு பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையை $1^\circ C$ வீழ்த்துகிறது.

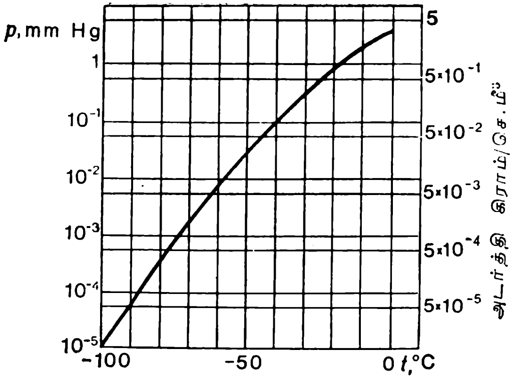
அழுத்தம் அதிகமாகும் பொழுது பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை இறங்குவதால்தான் பனிச்சறுக்குப் புதைமிதி பனிக்

கட்டியின் மேல் வழுக்கிச் செல்கிறது என்னும் அடிக்கடி கேட்கும் விளக்கம் எவ்வளவு எளிமையாய் இருக்கிறது என்பதை இதிலிருந்தும் நாம் உணர முடிகிறது. பனிச்சறுக்கு புதைமிதியின் அலகு செயல்படுத்தும் அழுத்தம் எந்தச் சூழ்நிலையிலும் 100 கி.கி.வி/செ.மீ^{2} என்ற அளவை விஞ்சுவதில்லை; ஆகவே இதனுல் ஏற்படுத்தப்பட்ட உருகுநிலையின் குறைவு பனிச்சறுக்கு விளையாடுபவருக்கு எவ்வித உதவியும் செய்வதில்லை.

திடப்பொருட்கள் ஆவியாதல்

ஒரு பொருள் ஆவியாகிக் கொண்டிருக்கிறது என நாம் கூறும் பொழுது, திரவம் ஆவியாகிக் கொண்டிருக்கிறது என்பதே பொதுவாகக் குறிப்பால் உணர்த்தப்படுகிறது. ஆனுல் திடப்பொருட்களும் ஆவியாக முடியும். திடப்பொருட்கள் ஆவியாதல் சில நேரங்களில் பதங்கமாதல் (sublimation) என அழைக்கப்படுகிறது

உதாரணமாக நாப்தலீன் ஆவியாகும் திடப்பொருளாகும். நாப்தலின் 80°C ல் உருகுகிறது; ஆனுல் அறை வெப்பநிலையில் ஆவியாகிறது. நாப்தலீனின் இப்பண்பே அந்துப்பூச்சிகளை அடியோடு அழிப்பதற்கு இது உபயோகப்படுத்தப்படுவதற்குக் காரணமாக அமைகிறது. நாப்தலீன் பொடி தூவப்பட்ட விலங்கின் மென்மயிரால் ஆன வெளியாடை, நாப்தலீன் ஆவியால் தெவிட்டப்பட்டு, அந்துப்பூச்சிகளால் தாங்கிக் கொள்ள முடியாத சூழ்நிலையை உருவாக்குகிறது. ஒரு நாற்றம் கொண்ட ஒவ்வொரு திடப்பொருளும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு பதங்கமாகிறது. உண்மையில், பொருட்களிலிருந்தும் விடுவித்துக் கொண்டு நம் மூக்கை அடையும் மூலக்கூறுகளால் தான் நாற்றம் உண்டாக்கப்படுகிறது. இருப்பினும் குறிக்கமுடியாத அளவுக்கு, அதாவது



படம் 102 பனிக்கட்டி—நீராவி என சமநிலை

சில நேரங்களில் மிகக் கவனமான சோதனையாலுங்கூடக் கண்டுணர முடியாத அளவுக்கு நடைபெறும் பதங்கமாதல் அடிக்கடி நிகழ்கின்றன. கொள்கை ரீதியாக, எல்லாத் திடப்பொருட்களும் (ஆம், எந்தப் பொருளாயினும், இரும்பு அல்லது தாமிரமும் கூட) ஆவியாகிறது. பதங்கமாதலை நாம் தடங்காண முடியவில்லையென்ருல், தெவிட்டிய ஆவியின் அடர்த்தி ஒதுக்கிவிடக்கூடிய அளவுக்கு மிகக் குறைவாயிருக்கிறது என்பதே அர்த்தமாகும்.

திடப்பொருளுக்கு மேலே நிலைபெற்றிருக்கும் தெவிட்டிய ஆவியின் அடர்த்தி, வெப்பநிலை அதிகரிக்கும் பொழுது அதிகமாகிறது (படம் 102). அறை வெப்பநிலையில் தெளிவான நாற்றத்தைக் கொண்டிருக்கும் சில பொருட்கள், தாழ் வெப்பநிலைகளில் அவற்றை இழந்து விடுகின்றன என்று நம்மை நாமே நம்ப வைப்பது சாத்தியமாகிறது.

பெரும்பாலனவற்றில் பொருள் முன்னதாகவே உருகி விடுகிறது என்ற மிக எளிய காரணத்தினுல், திடப்பொருளின் தெவிட்டிய ஆவிச் செறிவை மிகுதியான அளவுக்கு அதிகரிப்பது சாத்தியமாவதில்லை.

பனிக்கட்டியும் ஆவியாகிறது. உறை பனிக்காலத்தின் போது, துவைத்த துணிகளைத் தொங்கவிட்டு உலர்த்தும் குடும்பத்தலைவிக்கு இது நன்கு தெரிந்திருக்கலாம். முதலாவதாக, தண்ணீர் உறையும், ஆனால் பின்னர் பனிக்கட்டி ஆவியாகிறது. முடிவில் துணி உலர்கிறது.

மும்மைப் புள்ளி
(Triple point)

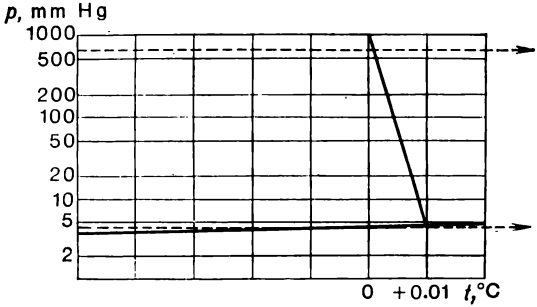
இவ்வாறு ஆவி, திரவம், படிகம் முதலியவற்றில் ஏதாவது இரண்டு சமநிலையிலிருக்கக்கூடிய சூழ்நிலைகளும் இருக்கின்றன.

மூன்று நிலைகளுமே சமநிலையிலிருக்க முடியுமா? அழுத்த—வெப்பநிலை விளக்கப்படத்தில் இத்தகைய ஒரு புள்ளி அமைந்திருக்கிறது; இது மும்மைப் புள்ளி என அழைக்கப்படுகிறது. இது எங்கு அமையப்பெற்றிருக்கிறது?

தண்ணீரில் மிதந்து கொண்டிருக்கும் பனிக்கட்டி பூச்ிய டிகிரி வெப்பநிலையிலிருக்கும் மூடிய பாத்திரத்தி ுள்ளே வைக்கப்பட்டால், தண்ணீர் (பனிக்கட்டியும்) ஆவி ய விசும்பினுள் நுழைய ஆரம்பிக்கிறது. 4.6 மி.மீ பாதரச அளவு அழுத்தத்தில் ஆவியாதல் தடைப்பட்டுத் தெவிட் டுதல் ஆரம்பமாகும். இப்பொழுது பனிக்கட்டி, தண்ணீர், ஆவி ஆகிய மூன்று கட்டங்களும் சமநிலையில் இருக்கின் றன. இதுவே சரியாக, மும்மைப் புள்ளி எனப்படுகிறது.

படம் 103ம் காட்டப்பட்டிருக்கும் தண்ணீருக்குரிய ...த்தின் மூலம் பல்வேறு நிலைகளுக்கிடையேயான தொடர் ...கள் வரைபட விளக்கமாகவும் தெளிவாகவும் காட்டப்பட்டி ...க்கின்றன.

இத்தகையதொரு வரைபடம் எந்தப் பொருளுக்கும் அமைக்கப்படலாம்.



படம் 103

விளக்கப்படத்தில் அமைந்திருக்கும் வளைகோடுகளுடன் நாம் பழக்கப்பட்டிருக்கிறோம்; அவை முறையே, பனிக் கட்டி—நீராவி, பனிக்கட்டி—தண்ணீர், தண்ணீர்—நீராவி முதலியவற்றுக்கான சமநிலை வளைகோடுகளாகும். வழக்கம் போல், அழுத்தம் நிலைக்குத்து அச்சின் மீதும் வெப்பநிலை கிடைக்கோட்டின் மேலும் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

மூன்று வளைகோடுகளும் மும்மைப்புள்ளியில் ஒன்றை யொன்று வெட்டிக் கொண்டு, வரைபடத்தை மூன்று பகுதிகளாக—பனிக்கட்டி, தண்ணீர், நீராவி ஆகியவை நிலைபெற்றிருக்கும் பகுதிகளாகப் பிரிக்கின்றன.

நிலை விளக்கப்படம் (phase diagram) சிறந்த கையேடா கும். ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்திலும் வெப்பநிலையிலும் பொருள் எந்த நிலையில் உறுதியாக இருக்கிறது என்பது போன்ற கேள்விகளுக்குப் பதிலளிப்பதே இதன் நோக்கமா கும்.

''இடப்பகுதியின்'' சூழ்நிலைகளின் கீழ் தண்ணீர் அல்லது நீராவி வைக்கப்பட்டால், அவை பனிக்கட்டியாக மாறி விடும். தண்ணீர் அல்லது பனிக்கட்டி, ''கீழ்ப்பகுதியில்'' புகுத்தப்பட்டால், நீராவி பெறப்படும். ''வலப்புறப்பகுதி யில்'' நீராவி குவிப்படைகிறது; பனிக்கட்டி உருகுகிறது.

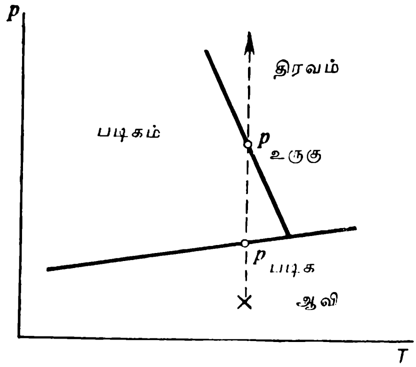
பொருள் சூடேற்றப்படும் பொழுதோ அல்லது இறுக்கப்படும் பொழுதோ அதற்கு என்ன நிகழ்கிறது? என்பதைப் பற்றி உடனேயே முடிவு செய்வதற்கு நிலை விளக்கப்படம் நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது. மாருத அழுத்தத்தில் சூடேற்றுதல் ஒரு கிடைக்கோட்டினுல் விளக்கப்படத்தில் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. பொருளின் நிலையைக் குறிக்கும் புள்ளி இக்கோட்டின் மீது இடமிருந்து வலமாக நகரும்.

இப்படிப்பட்ட இரு கோடுகள் படத்தில் விவரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றில் ஒன்று இயல்பான அழுத்தத்தின் கீழ் சூடேற்றுவதை விவரிக்கிறது. இக்கோடு மும்மைப் புள்ளிக்கு மேலே அமைந்திருக்கிறது. ஆகவே இது முதலில் கொதிநிலை வளைகோட்டை வெட்டுகிறது; பின்னர் படத்தின் எல்லைகளுக்கப்பால் ஆவியாதலின் வளைகோட்டையும் வெட்டுகிறது. இயல்பான அழுத்தத்தின் கீழ் பனிக்கட்டி $0°C$ வெப்பநிலையில் உருகுகிறது. இவ்வாறு கிடைக்கப்பெற்ற நண்ணீர் $100°C$ ல் கொதிக்கிறது.

குறைவான அழுத்தத்தின் கீழ், உதாரணமாக 5 மி.மீ பாதரச அளவுக்கும் குறைந்த அழுத்தத்தின் கீழ் சூடேற்றப்படும் பனிக்கட்டியின் நிலை மாறுபட்டதாய் அமைகிறது.

சூடேற்றும் செயல்முறை மும்மைப் புள்ளிக்குக் கீழே செல்லும் கோட்டினுல் விவரிக்கப்படுகிறது. இக்கோட்டைக் கொதிநிலை, உருகுநிலை முதலியவற்றின் வளைகோடுகள் வெட்டுவதில்லை. ஒதுக்கிவிடக்கூடிய அளவுக்குக் குறைவான இத்தகைய அழுத்தத்தின் கீழ் சூடேற்றும் பொழுது, பனிக்கட்டி நேரடியாகவே நீராவியாக மாற்றமடைகிறது.

சிலுவைக் குறியினுல் வரைபடத்தில் குறித்துக் காட்டப்பட்டிருக்கும் நிலையிலிருக்கும் நீராவி, இறுக்கப்படும் பொழுது, கவனத்தை ஈர்க்கும் இயற்பாடு நடைபெறுகிறது என்பதை 104ம் படத்தில் அமைந்துள்ள இதே விளக்கப்படம் காட்டுகிறது. ஆவி முதலில் பனிக்கட்டியாக மாற்



படம் 104

றப்பட்ட பின்னர் உருகுகிறது. ''எந்த அழுத்தத்தில் படிகங்கள் வளர ஆரம்பிக்கின்றன?'' ''உருகுதல் எப்பொழுது நடைபெறுகிறது'' என்பனவற்றைப் பற்றி உடனடியாகப் பதிலளிப்பதற்கு இவ்விளக்கப்படம் நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது.

எல்லாப் பொருட்களின் நிலை விளக்கப்படங்களும் ஒன்றையொன்று ஒத்திருக்கின்றன. அன்றாட வாழ்க்கையின் நோக்குநிலையிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது, இவற்றுள் முக்கியமான வேறுபாடுகள் தோன்றுகின்றன, ஏனெனில் பலதரப்பட்ட பொருட்களின் மும்மைப் புள்ளிகள் விளக்கப்படத்தில் முற்றிலும் மாறுபட்ட இடங்களில் அமைவுற்றிருக்கின்றன.

''இயல்பான சூழ்நிலைகளுக்கு'' அருகிலேயே, முதலாவதாக, ஒரு வளியழுத்தத்துக்குச் சமமான அழுத்தத்தின் கீழ் நாம் வாழ்கிறோம். இயல்பான அழுத்தக் கோட்டுக்குச் சார்பாகப் பொருளின் மும்மைப் புள்ளி அமையப் பெற்றிருக்கும் விதம் நமக்கு மிக முக்கியமானதாக இருக்கிறது.

மும்மைப் புள்ளிக்குரிய அழுத்தம் வளியழுத்தத்தைவிடக் குறைவாய் இருந்தால், ''இயல்பான'' சூழ்நிலைகளின்

கீழ் வாழ்ந்து கொண்டிருக்கும் நமக்கு இப்பொருள் உருகும் பொருள்களுள் ஒன்றுயிருக்கும். வெப்பநிலை ஏறும் பொழுது, அது முதலில் திரவமாக மாற்றப்பட்ட பின்னர் இது கொதிக்கும். இதற்கு எதிரிடையான சூழ்நிலையில், அதாவது மும்மைப் புள்ளியின் அழுத்தம், வளியழுத்தத்தைவிடக் கூடுதலாக இருக்கும் பொழுது, பொருள் சூடேற்றப்பட்டால், நாம் திரவம் எதையும் பார்க்க முடிவதில்லை; ஏனெனில் திடப்பொருள் நேரடியாகவே ஆவியாக மாற்றமடைகிறது. உலர் பனிக்கட்டி இவ்வாறுதான் நடந்து கொள்கிறது. இத்தன்மை குளிர் பாலேடு விற்பனை செய்பவர்களுக்கு மிகவும் உதவியாக இருக்கிறது. குளிர் பாலேட்டுக்கு நடுவில் சில பகுதிகளில் உலர் பனிக்கட்டித் துண்டுகளை வைப்பதனுல் குளிர் பாலேடு நனைந்து விடுமோ என்ற கவலையே இல்லாமல் உலர் பனிக்கட்டித் துண்டுகளைப் பரப்ப முடிகிறது. உலர் பனிக்கட்டி என்பது திட நிலையில் இருக்கும் கார்பன்—டையாக்ஸைடேயாகும். இதன் மும்மைப் புள்ளி 73 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்தில் அமைந்திருக்கிறது. ஆகவே கார்பன்—டையாக்ஸைடு ''கட்டி'' யைச் சூடேற்றும் பொழுது, அதன் நிலையை விவரிக்கும் புள்ளி, பதங்கமாதலின் வளைகோட்டை மட்டுமே வெட்டிச் செல்லும் கிடைக்கோட்டின் மீது நகர்ந்து செல்லும் (5 மி.மீ பாதரச அளவு அழுத்தத்தில் சாதாரண பனிக்கட்டி நடந்து கொள்வது போன்று).

ஒரே அணுக்கள், ஆனுல் வெவ்வேறு படிகங்கள்

நாம் எழுதும் பளபளப்பில்லாத, மிருதுவான காரீயமும் (graphite) பிரகாசமான, ஒளி ஊடுருவிச் செல்லும், கடினமான, கண்ணுடியை வெட்டுந்தன்மையுடைய வைரமும்

கார்பன் அணுக்கள் என்னும் ஒரே அணுக்களாலேயே ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தொகுப்பில் சர்வசமமாய் இருக்கும் இவ்விரு பொருட்களின் பண்புகளுக்கிடையே ஏன் வேறுபாடுகள் இத்தனை இருக்கின்றன?

ஒவ்வொரு அணுவும் மூன்று அண்டை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கும் இயல்புடைய, வெடிமருந்துக்குப் பயன் படும் காரீய வகையின் அணிக்கோவையையும் ஒவ்வொரு அணுவும் நான்கு அருகாமை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கும் இயல்புடைய வைரத்தின் அணிக்கோவையையும் எண்ணிப் பார்க்கவும். படிகங்களின் பண்புகள், அவற்றின் அணுக்களின் பரஸ்பர பரப்பீடுகளினால் எவ்வாறு தீர்மானிக்கப்படுகின்றன என்பது இவ்வுதாரணத்திலிருந்து தெளிவாகத் தெரிய வருகிறது. இரண்டாயிரம் அல்லது மூவாயிரம் டிகிரிகள் வெப்பநிலைகள் வரையிலும் தாங்கிக் கொள்ளும் தன்மையைக் கொண்ட தீத்தடைக் காப்புடைய மட்கலங்கள் காரீயத்தாலேயே செய்யப்பட்டிருக்கின்றன; ஆனால் 700°C வெப்பநிலைக்கு மேலே வைரம் எரிந்து விடுகிறது. வைரத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 3.5 ஆக இருக்கும் பொழுது கிராபைட்டின் ஒப்பு அடர்த்தி 2.3 ஆக இருக்கிறது; காரீயம் மின்சாரத்தைக் கடத்துகிறது; ஆனால் வைரம் மின்சாரத்தைக் கடத்துவதில்லை. இவற்றிற்கிடையே இது போன்று இன்னும் பல வேறுபாடுகளும் இருக்கின்றன.

வேறுபட்ட பல படிகங்களை அமைக்கும் இப்பண்பைக் கார்பன் மட்டும் கொண்டிருக்கவில்லை. பெரும்பாலும் ஒவ்வொரு வேதியியல் தனிமமும் ஏன் தனிமம் மட்டுமின்றி ஒவ்வொரு வேதியியல் பொருளும் பல்வேறு வகைகளில் நிலைபெற்றிருக்க முடிகிறது. ஆறு வகைப் பனிக்கட்டிகளும் ஒன்பது வகை கந்தகங்களும் நான்கு வகை இரும்புகளும் அறியப்பட்டிருக்கின்றன.

ஒரு கட்ட விளக்கப்படத்தைப் பற்றி விவாதிக்கையில்

பல்வேறுபட்ட படிகங்களைப் பற்றி நாம் எதுவும் கூருமல் திடப்பொருளுக்கு எனப் பொதுவாக ஒரு தனிப் பகுதியை வரைந்திருக்கிறோம். ஆனால் அதிக எண்ணிக்கையிலான பொருட்கள் இருக்கும் பொழுது, ஒவ்வொரு சிறு பகுதியும் ஒரு குடிப்பிட்ட வகையைச் சார்ந்த திடப்பொருளுக்கு அல்லது, சிலர் குறிப்பிடுவது போன்று, ஒரு குறிப்பிட்ட திண் கட்டத்துக்கு (ஒரு குறிப்பிட்ட படிக அமைப்பு) உகந்ததாய் இருக்குமாறு இப்பகுதி பல சிறு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது.

ஒவ்வொரு படிகக் கட்டமும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுடைய அழுத்தம், வெப்பநிலை முதலியவற்றின் இடைவெளிகளுக்குள் அடைக்கப்பட்டிருக்கும் உறுதியான நிலையின் பகுதியை அதற்குரியதாகக் கொண்டிருக்கிறது. ஒரு படிக வகையிலிருந்து மற்ருெரு வகைக்கு மாற்றமடைவதின் விதிகள்—உருகுதல், ஆவியாதல் முதலியவற்றின் விதிகளாகவே இருக்கின்றன.

அழுத்தத்தின் மதிப்பு குறிப்பிட்டுக் கூறப்பட்டிருக்கும் பொழுது, இரு வகையான படிகங்களும் அமைதியுடன் ஒன்று சேர்ந்து நிலை பெற்றிருக்கும் வெப்பநிலையை நாம் கண்டுபிடிக்க முடிகிறது. நாம் வெப்பநிலையை உயர்த்திஞல், ஒரு அமைப்புடைய படிகம் இரண்டாவது வகைப் படிகமாக மாற்றப்படலாம். வெப்பநிலையை நாம் குறைத்தால் எதிர் மாற்றம் நிகழ்கிறது.

இயல்பான அழுத்தத்தின் கீழ் சிவப்பு கந்தகத்தை மஞ்சள் கந்தகமாக மாற்றுவதற்கு 110°C க்குச் சற்றுக் குறைவாயிருக்கும் வெப்பநிலை தேவைப்படுகிறது. இதற்கு மேல் உருகுநிலை வரையிலும் ஆன வெப்பநிலைகளில் சிவப்பு கந்தகத்தின் பண்பியலான அணுக்களின் பரப்பீட்டு முறைமை உறுதியானதாக அமைகிறது. வெப்பநிலை வீழ்ச்சியுறும் பொழுது, அணுக்களின் அலைவுகள் குறைகின்றன; 110°C

லிருந்து அணுக்களின் பரப்பீட்டுக்கு மேலும் வசதியான முறைமையை இயற்கை உண்டாக்குகிறது. ஒரு படிகம் மற்ருெரு படிகமாக மாறுகிறது.

ஆறு வித்தியாசமான பனிக்கட்டிகளுக்குச் சூட்ட வேண்டிய பெயர்களை யாருமே நினைத்திருக்க மாட்டார்கள். பனிக்கட்டி—ஒன்று, பனிக்கட்டி—இரண்டு... பனிக்கட்டி—ஏழு... என இவ்வாறுதான் நாம் கூறுகிருேம். ஆறு வகைகள் மட்டுமே இருக்கும் பொழுது, ஏழு எப்படித் தோன்றியது? திரும்பத் திரும்பச் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் பனிக்கட்டி—நான்கைத் தடங்காண்பதில் தோல்வியடைந்தன என்பதே இதற்கான காரணமாகும்.

ஏறக்குறைய பூச்சிய வெப்பநிலையில் தண்ணீர் இறுக்கப்பட்டால், கிட்டத்தட்ட 2000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்தில் பனிக்கட்டி—ஐந்து உருப்பெறுகிறது. கிட்டத்தட்ட 6000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்தில் பனிக்கட்டி—ஆறு உண்டாக்கப்படுகிறது.

பனிக்கட்டி—இரண்டும் பனிக்கட்டி—மூன்றும் $0^{\circ}C$ வெப்பநிலைக்குக் கீழே உறுதி நிலையிலிருக்கின்றன.

பனிக்கட்டி—ஏழு, வெம்மையான பனிக்கட்டியாகும். வெம்மையான தண்ணீர் கிட்டத்தட்ட 20.000 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்துக்குட்படுத்தப்படும் பொழுது இது தோன்றுகிறது.

சாதாரண பனிக்கட்டியைத் தவிர மற்றெல்லாப் பனிக்கட்டிகளும் தண்ணீரைவிடக் கனமானவை. இயல்பான சூழ்நிலைகளின் கீழ் பெறப்பட்ட பனிக்கட்டி பொது நிலையில் இருந்து பிறந்து நடக்கிறது; மாருக, இயல்பான நிலைகளிலிருந்து மாறுபட்ட சூழ்நிலைகளின் கீழ் பெறப்பட்ட பனிக்கட்டி இயல்பாக நடந்து கொள்கிறது.

ஒவ்வொரு படிக அமைப்பும் ஒரு திட்டமான நிலைப்புப் பகுதியால் குறிக்கப்படும் பண்பைக் கொண்டிருக்கிறது.

ஆனால் இது இப்படியிருக்கையில் காரீயமும் வைரமும் சர்வசமமான சூழ்நிலைகளின் கீழ் நிலைத்திருப்பது எவ்வாறு சாத்தியமாகிறது?

இத்தகைய ஒழுங்கு முறைமையின்மை படிக உலகில் அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. முற்றிலும் புதிய சூழ்நிலைகளில் நிலைபெற்றிருக்கும் திறமை, பெரும்பாலும் எல்லாப் படிகங்களுக்கும் பொதுவான விதியாயிருக்கிறது. ஆவி அல்லது திரவத்தை முற்றிலும் புதிய பகுதிக்குக் கொண்டு சென்று அவை அங்கு நிலைபெற்றிருக்கச் செய்வதற்கு நாம் பலதரப்பட்ட யுக்திகளைக் கையாள வேண்டியிருக்கையில் படிகம், இதற்கு மாறாக, அதற்காக இயற்கை குறிப்பிட்டுக் காட்டியிருக்கும் எல்லையினுள்ளேயே பெரும்பாலும் இருக்குமாறு நிர்ப்பந்திக்கப்பட முடியாது.

படிகங்களின் மீச்சூடேற்றுதல், மீக்குளிர்வித்தல் முதலியன மிகவும் நெருக்கமாக அமையப் பெற்றிருக்கும் சூழ்நிலைகளின் கீழ் நிகழும் ஒரு முறைமையிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு மாற்றமடையச் செய்வதில் ஏற்படும் கடினத்தாலேயே விளக்கிக் கூறப்படுகின்றன. 95.5°C ல் மஞ்சள் கந்தகம் சிவப்பு கந்தகமாக மாற்றப்பட வேண்டும். சிறிது குறைந்த அல்லது அதிக வேகமான சூடேற்றதலின் போது, இம்மாற்ற நிலையைத் ''தவறவிட்டு'' 113°C வரை செல்கிறோம்.

வேறுபட்ட படிகங்கள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொண்டு அமைந்திருக்கும் பொழுதுதான், உண்மையான உருமாற்ற நிலை மிக எளிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. நாம் ஒன்றுக்கருகில் மற்றொன்றை மிக நெருக்கமாக வைத்து, 96°C வெப்பநிலையைத் தொடர்ந்து நீடிக்கச் செய்தால், மஞ்சள் கந்தகம் சிவப்பு கந்தகத்தால் விழுங்கப்படுகிறது; ஆனால் 95°C ல் மஞ்சள் கந்தகம் சிவப்பு கந்தகத்தை விழுங்கி விடுகிறது. ஒரு ''படிகம்—திரவம்'' மாற்றத்தைப் போலன்றி, ஒரு ''படிகம்—படிகம்'' மாற்றம், மீக்குளிர்

விப்பின் போது நிகழ்வது போன்றே மீச்சூடேற்றலின் போதும் சாதாரணமாகக் காலந்தாழ்த்தப்படுகிறது.

சில நேரங்களில் பொருளின் நிலைகள் முற்றிலும் மாறுபட்ட வெப்பநிலைகளில் நிலைத்திருக்கும் என எதிர் பார்க்கப்படும் நிலையையும் நாம் காண்கிறோம்.

வெப்பநிலை 13°C க்கு வீழ்ச்சியடையும் பொழுது, வெள்ளை நிற வெள்ளீயம் சாம்பல் நிற வெள்ளீயமாக மாற்றமடைய வேண்டும். சாதாரணமாக, நாம் வெள்ளை நிற வெள்ளீயத்தால் செய்யப்பட்ட பொருட்களை உபயோகிக்கிறோம்; குளிர் காலத்தில் அவற்றிற்கு எதுவும் நிகழ்வதில்லை என்பதை நாமறிவோம். இது 20—30 டிகிரிகள் அளவிலான மீக்குளிர்வித்தலை மிக நன்றாகவே தாங்கிக் கொள்ளுகிறது. ஆயினும், கடுமையான குளிர் காலச் சூழ்நிலைகளில் வெள்ளை நிற வெள்ளீயம் சாம்பல் நிற வெள்ளீயமாக மாறுகிறது. இவ்வுண்மையைப் பற்றிய அறிவு இல்லாமலிருந்தது, தென் துருவத்தை நோக்கி ஸ்காட்லாந்தியர்கள் மேற்கொண்ட படையெழுச்சியை (1912) அழிப்பதற்குக் காரணமாயிருந்தவற்றுள் ஒன்றாகும். படையெழுச்சியின் போது எடுத்துச் சென்ற திரவ எரிப்பொருள், காரீயத்தால் பற்ற வைக்கப்பட்ட பாத்திரங்களில் வைக்கப்பட்டிருந்தது. கடுமையான உறை பனிகாலத்தின் போது, வெள்ளை நிற காரீயகம் ஒரு சாம்பல் நிறப் பொடியாக மாற்றப்பட்டது. பாத்திரங்களின் பற்றவைப்பு நெகிழ்ச்சியுற்று எரிப்பொருள் வெளியே சிதறியது. வெள்ளை நிற காரீயகத்தில் சாம்பல் நிறப் புள்ளிகள் தோன்றுவதைக் காரியக ப்ளேக் என்று அழைப்பதற்குக் காரணம் இருக்கிறது.

கந்தகத்தைப் போலவே 13°Cக்குச் சற்றுக் குறைவான வெப்பநிலையில் காரீயகத்தாலான பொருளின் மீது சாம்பல் நிற வகையைச் சேர்ந்த சிறு துணுக்கு விழுந்தால்,

வெள்ளை நிற காரீயகம் சாம்பல் நிற காரீயகமாக மாற்றமடைகிறது.

ஒரே பொருளின் பல வகைகள் நிலைபெற்றிருத்தலும் அவற்றின் பரஸ்பர மாற்றங்களில் உண்டாகும் காலதாமதமும் தொழில் நுணுக்கவியலில் அதிக முக்கியத்துவம் கொண்டிருக்கின்றன.

அறை வெப்பநிலையில் இரும்பு அணுக்கள் ஒவ்வொரு கன சதுரத்தின் மையத்திலும் மூலைகளிலும் அமர்ந்து கொண்டு ஒரு உரு மையக் கனச் சதுர அணிக்கோவையை அமைக்கின்றன. ஒவ்வொரு அணுவுக்கும் 8 அண்டை அணுக்கள் இருக்கின்றன. இதைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையில் அதிக அடர்த்தியான பொதியலை அமைக்கின்றன. இதில் ஒவ்வொரு அணுவும் 12 அண்டை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கிறது. ஒவ்வொரு அணுவுக்கும் 8 அண்டை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கும் இரும்பு மிருதுவாயிருக்கிறது. ஒவ்வொரு அணுவுக்கும் 12 அண்டை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கும் இரும்பு கடினமாயிருக்கிறது. இரண்டாவது வகை இரும்பை அறை வெப்பநிலையில் பெறுவது சாத்தியமாதாயிருக்கிறது. இது செய்யப்படும் முறையாகிய ''வன்மித்தல்'' உலோகவியலில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

''வன்மித்தல்'' மிக எளிதாகவே செய்து முடிக்கப்படுகிறது. உலோகப் பொருள் பழுக்கக் காய்ச்சப்பட்டு, தண்ணீர் அல்லது எண்ணெய்க்குள் எறியப்படுகிறது. உயர் வெப்பநிலையில் நிலையானதாயிருக்கும் இயல்பமைப்பு மாற்றமடைவதற்குப் போதுமான நேரம் இல்லாத அளவுக்குக் குளிர்வித்தல் மிக வேகமாக நடை பெறுகிறது. இதன் விளைவாக உயர் வெப்பநிலையின் இயல்பமைப்பு, அதன் இயல்புக்கு முரண்பட்ட சூழ்நிலைகளின் கீழ் காலவரம்பின்றி நிலை பெற்றிருக்கும்: உறுதியான இயல்பமைப்பை நோக்கிய

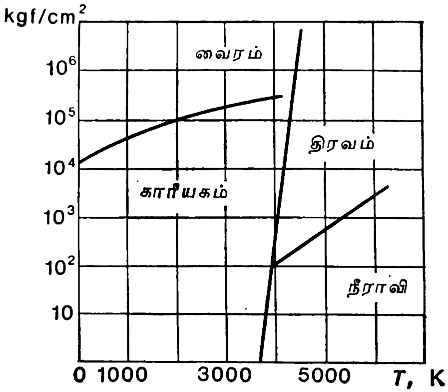
மறு படிகவாக்கம் நடைமுறையில் கவனிக்க இயலாத அளவுக்கு மிக மெதுவாகவே நிகழ்கிறது.

இரும்பின் வன்மித்தலைப் பற்றிக் குறிப்பிடும் பொழுது, நாம் சரியாகக் கூறவில்லை. ஒரு சதவீதத்தில் ஒரு பகுதி அளவிலான கார்பனைக் கொண்டிருக்கும் எஃகு என்ற ஒரு வகை இரும்புதான் வன்மிக்கப்படுகிறது. மிகச் சிறு அளவு கார்பன் கலந்திருத்தல், கடினமான இரும்பு மென்மையானதாக மாற்றமடைவதைத் தாமதப்படுத்தி, வன்மித்தல் நன்கு நடைபெறுவதற்கு உதவியாக அமைகிறது. முழுவதுமாகக் கலப்பற்ற இரும்பை வன்மிப்பதில் நாம் வெற்றி காண முடியாது. மிகவும் வேகமாகக் குளிர்வித்தல் நடைபெற்றாலும் கூட அதன் இயல்பமைப்பு மாற்றமடைவதற்குப் போதுமான நேரம் கிடைக்கிறது.

கட்ட விளக்கப்படத்தின் வகையைப் பொறுத்த அழுத்தம், வெப்பநிலை இவற்றில் ஏதாவது ஒன்றை மாற்றுவதனால், ஏதாவதொரு மாற்றம் நடைபெறச் செய்ய முடிகிறது.

அழுத்தம் மட்டுமே மாற்றமடையும் பொழுது, ஒரு படிகம் மற்றொரு படிகமாகிய பல மாற்றங்கள் காட்சிப் பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. கருப்பு பாஸ்பரஸ் இம்முறையைப் பின்பற்றியே பெறப்பட்டது.

உயர் வெப்பநிலையையும் அதிக அழுத்தத்தையும் உடனிகழ்வாக உபயோகிப்பதனால் மட்டுமே காரீயகத்தை வைரமாக மாற்றுதல் சாத்தியமானது. படம் 105ல் கார்பனின் கட்ட விளக்கப்படம் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. பத்தாயிரம் வளியழுத்தங்களுக்குக் குறைந்த அழுத்தங்களிலும் 4000K க்குக் குறைவான வெப்பநிலைகளிலும் காரீயகமே நிலையான படிக அமைப்பாகும். ஆகவே இப்பகுதியில் இருக்கும் பொழுது, வைரம் புதிய சூழ்நிலைகளின் கீழ் நிலை பெற்றிருக்கிறது. ஆகவே குறிப்பிடும்படியாக எவ்விதக் கடின



படம் 105

முமின்றி இதைக் காரீயகமாக மாற்ற முடிகிறது. ஆனால் இதன் தலைகீழ் செயல்முறையே நடைமுறை முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக இருக்கிறது. அழுத்தத்தை அதிகரிப்பதனால் மட்டும் காரீயகத்தை வைரமாக மாற்றமடையச் செய்வதில் நாம் வெற்றி காண முடியாது. திட நிலையில் கட்ட மாற்றம் மிக மெதுவாகவே நிகழ்கிறது. கட்ட விளக்கப்படத்தின் அமைப்பு இதற்கான மிகச் சரியான தீர்வைத் தருகிறது: அழுத்தத்தை அதிகரித்து, உடனிகழ்வாகக் காரீயகத்தைச் சூடேற்றவும். இப்பொழுது நாம் உருகிய நிலையில் (விளக்கப்படத்தின் மேல் வலப்புற மூலை) இருக்கும் கார்பனைப் பெறுகிறோம். இதை அதிக அழுத்தத்தின் கீழ் குளிர்விக்கும் பொழுது, நாம் வைரத்துக்குரிய பகுதியை அடைதல் வேண்டும்.

இத்தகையதொரு செயல்முறையின் நடைமுறை சாத்தியக்கூறு 1955ம் ஆண்டிலேயே நிரூபிக்கப்பட்டுவிட்டது. இக்காலத்தில் தொழில் நுணுக்கவியலின் நோக்கில் தீர்க்கப்பட வேண்டிய பிணக்காக இது கருதப்படுகிறது.

திகைக்க வைக்கும் திரவம்

பொருளின் வெப்பநிலையை நாம் வீழ்ச்சியடையச் செய்தால், கட்டாயம் ஏதாவது ஒரு சமயத்தில் அது உறைந்து படிகத்தின் இயல்பமைப்பைப் பெறுகிறது. மேலும் இது எந்த அழுத்தத்தின் கீழ் குளிர்வித்தல் நிகழ்கிறது என்பதைப் பொறுத்ததல்ல. நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருக்கும் இயற்பியல் விதிகளின் நோக்கு நிலையிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது, இச்சூழ்நிலை மிகவும் இயல்பாயிருப்பதாகவும் புரிந்து கொள்ளக்கூடியதாகவும் தோன்றுகிறது. உண்மையில் வெப்பநிலையைக் குறைப்பதன் மூலம் வெப்ப இயக்கத்தின் செறிவை நாம் குறைக்கிறோம். மூலக்கூறுகளின் இயக்கம் அவற்றிற்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயல் விசைகளுடன் குறுக்கிடுவது முன்னதாகவே தடைப்பட்டிருக்கும் அளவுக்குத் தளர்ந்திருக்கும் பொழுது, மூலக்கூறுகள் சரியான ஒழுங்கு முறைமையில் அணிவகுத்து நிற்கின்றன: அதாவது படிகங்களை அமைக்கின்றன. மேற்கொண்டு செய்யப்படும் குளிர்வித்தல், மூலக்கூறுகளிலிருந்து இயக்க ஆற்றல் முழுவதையும் நீக்கிவிடுகிறது. மெய்ச்சுழியில் பொருள் ஒரு ஒழுங்கான அணிக்கோவையில் ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் மூலக்கூறுகள் பரப்பீடு செய்யப்பட்டிருக்கும் அமைப்பில் நிலைபெற்றிருக்கிறது.

எல்லாப் பொருட்களும் இவ்வாறே நடந்து கொள்கின்றன என்பதைப் பரிசோதனைகள் நிரூபிக்கின்றன. ஆம்: தனித்தன்மை வாய்ந்த இயற்கைப் பிறவியாகிய ஹீலியத்தைத் தவிர எல்லாப் பொருட்களும்தான்.

ஹீலியத்தைப் பற்றிய சில உண்மைகளை நாம் ஏற்கனவே வாசகர்களுக்குத் தெரிவித்திருக்கிறோம். மாறுதான வெப்பநிலையைப் பொறுத்தமட்டிலும் ஹீலியமே சிறும மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. 4.3 K க்குக் குறைவான மாறு

தான வெப்பநிலையைக் கொண்டிருக்கும் பொருள் ஏதும் இல்லை. இருப்பினும் இக்கீழ் வரம்பு மட்டிலும், திகைக்க வைக்கும் எந்தச் செய்தியையும் குறிப்பால் உணர்ந்துவ தில்லை. வேறு ஏதோ ஒன்று வியப்பூட்டுவதாய் இருக்கிறது: ஹீலியத்தை மாறுதான வெப்பநிலைக்குக் கீழே குளிர்வித்து, நடைமுறையில் மெய்ச்சுழியை அடைவதனால் நாம் திட நிலையிலிருக்கும் ஹீலியத்தைப் பெறுவதில்லை. மெய்ச்சுழி யிலும் கூட ஹீலியம் திரவ நிலையிலேயே இருக்கிறது.

நாம் அறிமுகப்படுத்திய இயக்க விதிகளின் நோக்கு நிலையிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது ஹீலியத்தின் பண்பு முழுவதுமாக விளக்கிக் கூற முடியாததாயிருப்பதுடன் உலகப் பொதுவாகத் தோன்றிய விதிகளின் வரம்புக்குட் பட்ட செல்லுபடியாகுந்தன்மையைச் சுட்டிக் காட்டும் அறி குறிகளுள் ஒன்றாகவும் இருக்கிறது.

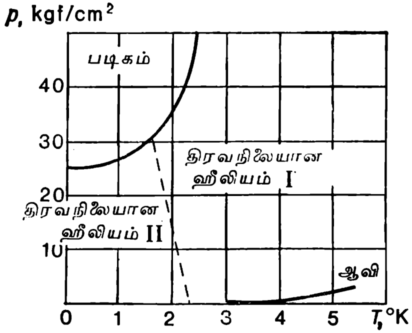
பொருள் திரவ நிலையிலிருந்தால், அதன் அணுக்கள் இயக்கத்தில் ஈடுபட்டிருக்கின்றன. ஆனால் இதை மெய்ச் சுழி வரையிலும் குளிர்விக்கும் பொழுது, இதிலிருந்து நாம் இயக்க ஆற்றல் முழுவதையும் எடுத்துக் கொள்கிறோம். எடுத்துக் கொள்ள முடியாத ஆற்றலை ஹீலியம் கொண்டி ருக்கிறது என்பதை நாம் ஒத்துக் கொள்ளத்தான் வேண் டும். இம்முடிவு நாம் இதுவரையிலும் பயின்று வந்த இயந் திரவியலுடன் ஒவ்வாததாயிருக்கிறது. நாம் பயின்றிருக்கும் இயந்திரவியலின்படி பொருளிலிருந்து அதன் இயக்க ஆற்றல் முழுவதையும் எடுத்துக் கொள்ளும் பொழுது, அப்பொரு ளின் இயக்க வேகம் குறைந்து, அது ஓய்வு நிலைக்கு வருகி றது. சரியாக இதே முறையில் குளிர்விக்கப்படும் பாத்திரத் தின் சுவர்களுடன் மூலக்கூறுகள் மோதும் பொழுது, அவற் றிலிருந்து ஆற்றல் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டு, அவற்றின் இயக்கமும் நிறுத்தத்துக்கு வர முடியும். இத்தகைய இயந்

திரவியல், ஹீலியத்துக்குப் பொருந்தாது என்பது வெளிப்படையாகத் தெரிய வருகிறது.

ஹீலியத்தின் இவ்விநோதமான பண்பு மிகவும் முக்கியம் வாய்ந்த உண்மையைக் குறிப்பதாய் அமைகிறது. கண்ணுக்குப் புலனுகும் பொருட்களின் இயக்கத்தைப் பற்றிய நேரடி சோதனைகளின் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்ட இயந்திரவியல் விதிகளை—இயற்பியலுக்கு உறுதியான அடிப்படையை அமைந்திருப்பதாகத் தோன்றும் விதிகளை—அணுக்களின் உலகில் பயன்படுத்துவது சாத்தியமானதல்ல என்ற சூழ்நிலையை நாம் சந்திப்பது இதுவே முதல் முறையாகும். ஹீலியம் மெய்ச்சுழியில் படிகமாவதற்கு மறுக்கிறது என்ற உண்மையை நாம் இதுவரையிலும் பயின்றிருக்கும் இயந்திரவியலுடன் இணக்குவித்தல் எவ்விதத்திலும் சாத்தியமாவதில்லை. அணுக்களின் உலகம் இயந்திரவியல் விதிகளுக்குக் கீழ்ப்படியாமலிருப்பது என்னும் முதன்முறையாக நாம் சந்திக்க நேரிடும் இம்முரண்பாடு, இயற்பியலில் அமைந்திருக்கும் மேலும் கூர்மையான, வெளிப்படையான முரண்பாடுகளின் தொடரில் முதல் கண்ணியாக அமைந்திருக்கிறது.

இம்முரண்பாடுகள், அணுக்களுக்குப் பயன்படுத்தும் பொழுது, இயந்திரவியலின் அடிப்படைகளைத் திருத்தியமைக்க வேண்டியதன் அவசியத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. இத்திருத்தம் மிக ஆழ்ந்த அறிவாராய்ச்சியுடையதாகும்; இது இயற்கையைப் பற்றிய நமது அறிவு முழுமையையும் மாற்றிக் கொள்வதற்கு வழிவகுக்கிறது.

அணு இயக்கம் சார்ந்த இயற்பியலின் மூலதத்துவ திருத்தத்துக்கான அவசியம் நாம் பயின்றிருக்கும் இயந்திரவியல் விதிகளைப் பயனற்றவை எனக் கூறி நாம் ஒதுக்கிவிட வேண்டும் என்பதைக் குறிப்பால் உணர்த்தவில்லை. வாசகர்களைத் தேவையில்லாதவைகளைப் பயிலும்படி செய்தல் நல்லதன்று. பெரிய பொருட்களின் உலகில் பழைய இயந்



படம் 106

திரவியல் முற்றிலும் செல்லுபடியாகிறது. இதனுடன் உகந்த இயற்பியல் அத்தியாயங்களை முழு திருப்தியுடன் ஏற்றுக் கொள்வதற்கு இதுவே நமக்குப் போதுமானதாயிருக்கிறது. ஆயினும் பழைய இயந்திரவியலின் பல விதிகள் மாற்றம் ஏதுவுமின்றி அப்படியே புதிய இயந்திரவியலினுள் நுழைந்திருக்கின்றன என்பதும் முக்கியம் வாய்ந்ததாக இருக்கிறது. இவற்றுள் குறிப்பாக ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியும் ஒன்றாகும்.

மெய்ச்சுழியில் ''நீக்கப்படமுடியாத'' ஆற்றலைக் கொண்டிருப்பது ஹீலியத்தின் தனிப் பண்பு அல்ல. எல்லாப் பொருட்களும் ''பூச்சிய'' ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கின்றன என்பது தெரியவருகிறது. ஆனால் ஹீலியத்தில் மட்டுமே அணுக்கள் ஒழுங்கான படிக அணிக்கோவையை அமைக்காமல் தடுப்பதற்கு இவ்வாற்றல் போதுமானதாக இருக்கிறது.

ஹீலியம் படிக நிலையில் நிலைபெற்றிருக்க முடியாது என்று நாம் எண்ண வேண்டாம். ஹீலியத்தைப் படிக நிலையில் பெற விரும்பினால் கிட்டத்தட்ட 25 வளியமுத்தங்களுக்குச்

சமமாயிருக்கும்படியாக அழுத்தத்தை அதிகரித்தலே போதுமானதாயிருக்கிறது. இதற்கு அதிகமான அழுத்தத்தில் செய்யப்படும் குளிர்வித்தல் முற்றிலும் இயல்பான பண்புகளைக் கொண்ட திட நிலையிலிருக்கும் படிக ஹீலியம் அமைவதற்கு வழி செய்கிறது. ஹீலியம் ஒரு முகப்புமைய கன சதுர அணிக்கோவையை அமைக்கிறது.

படம் 106ல் ஹீலியத்துக்குரிய கட்ட விளக்கப்படம் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. மும்மைப் புள்ளி இல்லாதிருப்பதலால், இப்படம் ஏனைய பொருட்களின் கட்ட விளக்கப் படங்களிலிருந்தும் மிகவும் வேறுபட்டிருக்கிறது. கொதிநிலை வளைகோடும் உருகுநிலை வளைகோடும் ஒன்றையொன்று வெட்டிக் கொள்வதில்லை.

பதின்மூன்று

கரைசல்கள்

கரைசல் என்றால் என்ன?

வடிசாற்றில் உப்பை இட்டுக் கரண்டியால் கலக்கினால், உப்பு இருந்ததற்கான அடையாளங்கள் எதுவும் இருப்பதில்லை. உப்பின் துணுக்குகள் சாதாரண கண்ணுக்கு எளிதில் புலப்படுவதில்லை என நினைக்கக் கூடாது. நுண்ணிய உப்புப் படிகங்களை அடையாளங்காண்பதில் நாம் எவ்வழியிலும் வெற்றி பெற முடியாது. ஏனெனில் அவை கரைந்திருக்கின்றன. வடிசாற்றுடன் மிளகு சேர்க்கப்பட்டால், கரைசல் கிடைக்கப் பெறுவதில்லை. நாம் வடிசாற்றை முடிவின்றிப் பல நாட்களாகக் கலக்க முடியும், ஆனால் நுண்ணிய கருப்புத் துணுக்குகள் மறைவதில்லை.

ஆனால் ''பொருள் கரைந்து விட்டது'' என நாம் கூறும் பொழுது, நாம் என்ன அர்த்தத்தைத் தெரியப்படுத்துகிறோம். ஏனெனில் இப்பொருளில் அடங்கியிருக்கும் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் சுவடு இல்லாமல் மறைய முடியாது. இல்லை மறைய முடியுமா? உண்மையில் அவை மறைவதில்லை. கரைக்கும் பொழுது, பொருளின் துணுக்குகள் படிகங்களின் துணுக்குகள் ஒரே வகையைச் சேர்ந்த மூலக்கூறுகளின் தொகுதிகள் ஆகியவை மட்டுமே மறைகின்றன. ஒரு பொருளின் மூலக்கூறுகள் மற்றொரு பொருளின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையில் பரப்பப்பட்டிருக்கும்படி கலவை

யின் துகள்களைக் கலக்குவதுதான் கரைத்தல் எனப்படுகிறது. வித்தியாசமான பொருட்களின் மூலக்கூறுகள் அல்லது அணுக்களின் கலவையே கரைசல் எனப்படும்.

கரைசல், கரை பொருளை வெவ்வேறு அளவுகளில் கொண்டிருக்க முடிகிறது. கரைசலின் தொகுப்பு அதன் செறிவினுல் குறிப்பிடப்படுகிறது; உதாரணமாக, கிராமில் குறிப்பிடப்படும் கரை பொருளின் பொருண்மைக்கும் லிட்டரில் முறிக்கப்பட்ட கரைசலின் கன அளவுக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் விகிதமாகும்.

நாம் கரைசலில் கரை பொருளைச் சேர்த்துக் கொண்டே போனுல், கரைசலின் செறிவு அதிகமாகிறது. ஆனுல் இதற்கும் எல்லை இருக்கிறது. ஏதாவது ஒரு நேரத்தில் கரைசல் தெவிட்டியதாக ஆகும். பின்னர் கரை பொருளை உள்ளே ஏற்றுக் கொள்வது நின்று விடுகிறது. தெவிட்டிய கரைசலின் செறிவு, அதாவது கரைசலின் ''எல்லை''ச் செறிவு, கரை திறன் (solubility) என அழைக்கப்படுகிறது.

சூடான தண்ணீரில் ஆச்சரியம் அடையும்படியாக அதிக அளவு சீனியைக் கரைப்பது சாத்தியமாகிறது. 80°C வெப்பநிலையில் குவளை முழுவதும் நிரம்பியிருக்கும் தண்ணீர் 720 கிராம் சீனியை எச்சம் எதுவுமின்றி ஏற்றுக் கொள்கிறது. தெவிட்டிய இக்கரைசல் அதிகச் செறிவுடையதாகவும் பிசிறமாகவும் இருக்கிறது; இது சமையல்காரர்களால் சீனிப் பாகு என அழைக்கப்படுகிறது. நாம் சற்று முன்னர் குறிப்பிட்ட சர்க்கரையின் அளவு 0.2 லிட்டர் கன அளவைக் கொண்ட குவளையிலிருக்கும் தண்ணீருக்குரியது. ஆகவே 80°Cல் தண்ணீரில் சர்ககரையின் செறிவு 3600 கி/லி (ஒரு லிட்டருக்கு இத்தனை கிராம்கள் என வாசிக்கப்படுகிறது)க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

சில பொருட்களின் கரை திறன் வெப்பநிலையை அதிகமாகச் சார்ந்திருக்கிறது. அறை வெப்பநிலையில் (20°C)

தண்ணீரில் சர்க்கரையின் கரை திறன் 2000 கி/லி ஆக வளர்ச்சியடைகிறது. இதற்கு மாருக, வெப்பநிலை மாறுதலால் உப்பின் கரை திறன் குறிப்பிடப்பட முடியாத அளவே மாறுதலடைகிறது.

சீனியும் உப்பும் தண்ணீரில் நன்ருகக் கரைகின்றன. ஆனுல் நாப்தலீன் நடைமுறை ரீதியாகத் தண்ணீரில் கரையாத பொருளாயிருக்கிறது. வெவ்வேறு பொருட்கள் வெவ்வேறு கரைப்பான்களில் வித்தியாசமாகக் கரைகின்றன.

ஒற்றைப் படிகங்களை வளர்ப்பதற்குக் கரைசல்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. கரை பொருளின் சிறிய படிகம், அதன் தெவிட்டிய கரைசலில் தொங்கவிடப்பட்டால், கரைப்பான் ஆவியாகும் பொழுது, கரை பொருள் இப்படிகத்தின் மேற்பரப்பில் தங்கி விடுகிறது. மேலும் மூலக்கூறுகள் கண்டிப்பான ஒழுங்கு முறைமையைப் பாதுகாக்கின்றன. இதன் விளைவாக இச்செயல் முறையின் முழுவதும் ஒரு சிறிய படிகம் பெரிய ஒற்றைப் படிகமாக மாற்றப்படுகிறது.

திரவங்கள், வாயுக்கள் ஆகியவற்றின் கரைசல்கள்

ஒரு திரவத்தை மற்ரெரு திரவத்தில் கரைப்பது சாத்தியமானதா? உண்மையில் இது சாத்தியமானதே! உதாரணமாக, வோட்கா எனப்படுவது தண்ணீரில் ஆல்கஹாலின் கரைசலாகும் (அல்லது நாம் திரும்பினுல், ஆல்கஹாலில் தண்ணீரின் கரைசலாகவும் இருக்கலாம். இரண்டில் எது அதிகமாயிருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்தது). வோட்கா, உண்மையான கரைசலாகும்; இதில் தண்ணீர், ஆல்கஹால் அகியவற்றின் மூலக்கூறுகள் முழுவதுமாகக் கலந்திருக்கின்றன.

ஆயினும் இரு திரவங்கள் கலக்கும் பொழுது, எப்பொழுதும் இத்தகைய முடிவையே பெறுவதில்லே.

தண்ணீருடன் மண்ணெண்ணெய்யைச் சேர்ப்பதற்கு முயற்சி செய்யவும். நாம் எப்படிக் கலக்கினுலும் சமச்சீரான கரைசலேப் பெறுவதில் வெற்றியடைய முடியாது. வடிசாற்றில் மிளகுப் பொடிக் கரைப்பதற்கு முயற்சி செய்வது போன்று இதுவும் பயனற்றதாகத் தோன்றுகிறது. கலக்குவதை நாம் நிறுத்திய உடனேயே—கனமான தண்ணீர் அடியிலும் இலேசான மண்ணெண்ணெய் மேலுமாக—திரவங்கள், அவைகளேப் படுகைளில் சீராக அமைத்துக் கொள்கின்றன. தண்ணீருடன் சேர்ந்த மண்ணெண்ணெயும் தண்ணீருடன் சேர்ந்த ஆல்கஹாலும் அவற்றின் கரை திறனைப் பொறுத்தமட்டில் எதிரெதிர்ப் பண்புகளேக் கொண்ட இரு தொகுதிகளாகும்.

அயினும் இவற்றிற்கு இடைநிலேயில் அமைந்திருக்கும் உதாரணங்களும் இருக்கின்றன. நாம் ஈதரைத் தண்ணீருடன் கலந்தால், பாத்திரத்தில் இரு படுகைகள் அமைந்திருப்பதைத் தெளிவாகக் காணலாம். முதல் தோற்றத்தில் மேலே ஈதர் இருப்பதாகவும் அடியில் தண்ணீர் இருப்பதாகவும் தோன்றலாம். ஆனுல் உண்மையில் கீழ்ப்படுகையும் மேற்படுகையும் கரைசல்களாகும். இவற்றில் முந்தியது ஈதரின் ஒரு பகுதி கரைக்கப்பட்ட (ஒரு லிட்டர் தண்ணீரில் 25 கிராம் ஈதரைக் கொண்ட செறிவு) தண்ணீராகும். இரண்டாவது அதிக அளவு (60 கி/லி) தண்ணீரைக் கொண்ட ஈதராகும்.

இப்பொழுது வாயுகளின் கரைசல்களின் மீது நம் கவனத்தைத் திருப்புவோம். எதேச்சையான ஒரு வாயு வேறெந்த ஒரு வாயுவிலும் எல்லேயின்றிக் கரையும் என்பது தெரியவருகிறது. ஒரு வாயுவின் மூலக்கூறுகள் மற்றதன் மூலக்கூறுகளுக்கு நடுவே ஊடுருவிச் செல்லும் படியாக இரு

வாயுக்கள் எப்பொழுதும் ஒன்றோடொன்று கலக்கின்றன. ஏனெனில் வாயு மூலக்கூறுகள் ஒன்றோடொன்று மிகத் தளர்வான செயலெதிர்ச் செயற்பாடுகளைக் கொண்டிருந்ததலால், ஒரு குறிப்பிட்ட கருத்திற்கேற்ப ஒரு வாயு மற்றொரு வாயுவின் முன்னிலையில் அதன் இணைந்திருக்கும் தன்மை மறந்து செயல்படுகிறது.

வளிமங்கள், திரவங்களிலும் கரையக் கூடும். இருப்பினும், எதேச்சையான அளவுகளில் கரையாமல், வரம்புக் குட்பட்டே கரைக்கின்றன. இதைப் பொறுத்தமட்டில் இவை திடப்பொருள்களிலிருந்து வேறுபட்டிருக்கவில்லை. மேலும், வெவ்வேறு வாயுக்கள் வித்தியாசமாகக் கரைகின்றன; இவ் வித்தியாசங்கள் மிக அதிகமாயும் இருக்க முடியும். அம் மோனியா மிக அதிக அளவில் தண்ணீரில் கரைய முடியும் (திட்டத்தட்ட 100 கிராம் அம்மோனியா அரைக்குவளை குளிர்ந்த தண்ணீரில் கரையும்). ஹைடிரஜன் சல்பைடு, கார்பன்—டையாக்ஸைடு ஆகியவையும் அதிக அளவில் கரைகின்றன. ஆக்ஸிஜனும் நைடிரஜனும் ஒதுக்கிவிடும் அளவுக்குக் குறைந்த அளவில்தான் தண்ணீரில் கரைகின்றன (ஒரு லிட்டர் குளிர்ந்த தண்ணீரில் முறையே 0.07, 0.03 கிராம்கள்). ஆகவே ஒரு லிட்டர் குளிர்ந்த தண்ணீரில் மொத்தத்தில் ஏறக்குறைய ஒரு கிராமில் நூற்றில் ஒரு பங்கு காற்று மட்டுமே கரைந்திருக்கிறது. ஆயினும் இச் சிறிய அளவும் பூமியின் மேல் நிலைத்திருக்கும் வாழ்க்கைக்குப் பெரும் பங்காற்றுகிறது. தண்ணீரில் கரைந்திருக்கும் காற்றின் ஆக்ஸிஜனே மீன் சுவாசத்துக்குப் பயன்படுகிறது.

வாயுவின் அழுத்தம் அதிகமாயிருந்தால், அது அதிக அளவில் திரவத்தில் கரைக்கப்படுகிறது. கரைக்கப்பட்ட வாயுவின் அளவு மிக அதிகமாயில்லாதிருந்தால், இதற்கும் திரவ மட்டத்துக்கு மேலே அமைந்திருக்கும் வாயுவின் அழுத்தத்துக்கும் நேரடியான விகிதாச்சாரம் நிலைத்திருக்கிறது.

நம் தாகத்தைத் தணிப்பதற்குச் சிறந்ததெனக் கருதப் படும் குவளை சோடா நீரை அருந்தாதவரும் உண்டோ! கரைக்கப்பட்ட வாயுவின் அளவு அழுத்தத்தின் மீது கொண்டிருக்கும் சார்பினுல்தான் சோடா தயாரிப்பது சாத் தியமாகிறது. அழுத்தத்தின் கீழிருக்கும் கார்பன்—டையாக் ஸைடு தண்ணீரினுள் செலுத்தப்பகுகிறது (சோடா விற் கப்படும் ஒப்வொரு கடையிலும் வைக்கப்பட்டிருக்கும் உருளை யிலிருந்து). சோடா ஒரு குவளையில் ஊற்றப்படும் பொழுது, அதன் அழுத்தம் வளியழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கும்படி வீழ்ச்சியடைகிறது. தண்ணீர், கரையாமல் எஞ்சியிருக்கும் வாயுவைக் கொப்புளங்களின் வடிவில் வெளியிடுகிறது.

இவ்விளைவுகளைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டால், ஆழக்கடல் நீச்சல் வீரர்கள் தண்ணீருக்கு அடியிலிருந்து மேற்பரப்பை நோக்கி வேகமாக எழுந்து வரக் கூடாது. ஆழ்கடலில் செயல்படும் அதிக அழுத்தத்தின் கீழ் அதிக அளவுக் காற்று நீச்சல் வீரரின் இரத்தத்தில் கரைகிறது. மேல்நோக்கி எழும் பொழுது, அழுத்தம் வீழ்ச்சியடைகி றது. காற்று, கொப்புளங்களின் வடிவில் இரத்தத்திலிருந்து பிரியத் தொடங்குகிறது. இது இரத்தக் குழாய்களின் செயற்பாட்டை நிறுத்தக் கூடும்.

திண்மக் கரைசல்கள்

அன்றுட வாழ்வில் ''கரைசல்'' என்ற சொல் திரவங் களுக்குத்தான் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆயினும், திண்மக் கலவைகளும் நிலைபெற்றிருக்கின்றன. இவற்றின் அணுக்க ளும் மூலக்கூறுகளும் சீராகப் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன. ஆனல் திண்மக் கரைசல்களை அமைப்பது எப்படி? அம்மி, குழவி முதலியவற்றின் உதவியால் நாம் இவற்றைப் பெற முடியாது. ஆகவே கலக்க வேண்டிய பொருட்களை முதலில்

நாம் திரவங்களாக மாற்ற வேண்டும், அதாவது அவற்றை உருக்க வேண்டும்; பின்னர் திரவங்களைக் கலந்து, அக்கலவையை உறையும்படி விட்டுவிட வேண்டும். இதை நாம் இன்னொரு முறையிலும் செய்யலாம்: நாம் சேர்க்க விரும்புகிற இரு பொருட்களையும் ஏதாவது ஒரு திரவத்தில் கரைத்து பின்னர் கரைப்பானை ஆவியாக்க வேண்டும். இப்படிப்பட்ட வழிகளில் திண்மக் கரைசல்களைப் பெறலாம். ஆனால் சாதாரணமாக இம்முறைகளில் அவை பெறப்படுவதில்லை. திண்மக் கரைசல்கள் மிக அரிதானவைகளாகும். உப்புத் தண்ணீரில் ஒரு சீனித் துண்டு எறியப்பட்டால், அது மிக நன்றாகக் கரைகிறது. தண்ணீரை ஆவியாக்கவும், உப்பு, சீனி முதலியவற்றின் மிக நுண்ணிய படிகங்களைக் குவளையின் அடிப்பாகத்தில் நாம் பார்க்கலாம். உப்பும் சீனியும் சேர்ந்து திண்மக் கரைசல்களைக் கொடுப்பதில்லை.

ஒரே மட்கலத்திலேயே காட்மியம், பிஸ்மத் முதலியவற்றை உருக்குவது சாத்தியமாகிறது. குளிர்விக்கப்பட்ட பின்னர் காட்மியம், பிஸ்மத் முதலியவற்றின் படிகங்களான கலவையை நுண்ணோக்கியின் வழியே நாம் பார்க்க முடிகிறது. பிஸ்மத்தும் காட்மியமும் சேர்ந்து திண்மக் கரைசல்களை உண்டாக்குவதில்லை.

கலக்கப்பட இருக்கும் பொருட்களின் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள், வடிவம், பரிமாணங்கள் முதலியவற்றின் மீது கொண்டிருக்கும் கவர்ச்சியே திண்மக் கரைசல்கள் உண்டாவதற்குப் போதுமான நிபந்தனையாக இல்லாவிட்டாலும் அவசியமான நிபந்தனையாயிருக்கிறது. இச்சூழ்நிலையின் கீழ் கலவை உறையும் பொழுது ஒரு வகையைச் சேர்ந்த படிகங்கள் உண்டாகின்றன. ஒவ்வொரு படிகத்தின் அணிக்கோவைப் புள்ளிகளும் தொடர்பற்ற முறையில் வித்தியாசமான வகையைச் சேர்ந்த அணுக்களால் (மூலக்கூறுகளால்) அடைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

தொழில் நுணுக்கவியலில் முக்கியத்துவம் பெற்றிருக்கும் உலோகக் கலவைகளில் அதிகமானவை திண்மக் கரைசல்களாகவே இருக்கின்றன. சிறு அளவிலேயே கரைந்திருக்கும் சேர்க்கைப் பொருள் உலோகத்தின் பண்புகளை முழுவதுமாக மாற்றிவிடக் கூடும். தொழில் நுணுக்கவியலில் மிகப் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படும் பொருட்களில் ஒன்றாகிய எஃகை உண்டாக்குதல் இதற்கான, முக்கிய எடுத்துக்காட்டாக அமைகிறது. இது இரும்பில் சிறிதளவு கார்பனைக் கொண்டிருக்கும் (எடையின்படி 0.5 சதவீத அளவு, அதாவது ஒவ்வொரு 40 இரும்பு அணுக்களுக்கு ஒரு கார்பன் அணு என்ற அளவில்) திண்மக் கரைசலே ஆகும். இங்கு இரும்பு அணுக்களுக்கிடையே கார்பன் அணுக்கள் தொடர்பின்றிப் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன.

மிகக் குறைந்த எண்ணிக்கையிலான கார்பன் அணுக்களே இரும்பில் கரைகின்றன. ஆயினும் சில திண்டுக் கரைசல்கள், பொருட்களை எதேச்சையான விகிதாச்சாரத்தில் கலப்பதால் அமைக்கப்படுகின்றன. தங்கம், தாமிரம் முதலியவற்றின் கலவைகள் இதன் உதாரணமாகப் பயன்படுகின்றன. தங்கம், தாமிரம் முதலியவை முகப்புமைய அணிக்கோவை எனப்படும் ஒரே வகை அணிக்கோவைகளையே கொண்டிருக்கின்றன. தங்கத்துடன் சேர்ந்து தாமிரம் உண்டாக்கிய கலவையும் இதே அணிக்கோவையையே கொண்டிருக்கிறது. அதிகமான பங்கு தாமிரத்தைக் கொண்டிருக்கும் கலவைகளில், கொள்கை ரீதியாக, அணிக்கோவையிலிருந்து தங்க அணுக்களை நீக்கி விட்டு, அவற்றின் இடங்களில் தாமிர அணுக்களை வைத்து, இக்கலவையின் இயல்பமைப்பு பற்றிய கருத்து பெறப்படுகிறது. மேலும், பொதுவாகத் தாமிர அணுக்கள் அணிக்கோவைப் புள்ளிகளுக்குள் தொடர்பின்றிப் பரப்பப்பட்டு, பதிலமர்த்துதலும் ஒழுங்கற்ற முறையில் நிகழ்கிறது.

தங்கத்துடன் சேர்ந்து தாமிரம் அமைக்கும் கலவைகள், பதிலமர்த்துதலின் கரைசல்கள் (solutions of replacement) என அழைக்கப்படுகின்றன; எஃகு, புகுத்தலின் கரைசல் எனப்படும் வித்தியாசமான ஒரு வகைக் கரைசலாகும்.

மிக அதிகமான உதாரணங்களில் திண்மக் கரைசல்கள் தோன்றுவதில்லை. மேலே குறிப்பிட்டிருப்பது போன்றே, குளிர்வித்தலுக்குப் பின்னர் பொருள் இரு பொருட்களையும் சேர்ந்த நுண்ணிய படிகங்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது என்பதை நுண்ணோக்கியின் வழியே நாம் பார்க்க முடிகிறது.

கரைசல்கள் எவ்வாறு உறைகின்றன?

தண்ணீரில் எந்த உப்புக் கரைசலும் குளிர்விக்கப்பட்டால், உறைநிலை தாழ்த்தப்பட்டிருக்கிறது என்பதைக் காண முடியும். வெப்பநிலை பூச்சியம் வரைக்குக் கீழே சென்றுவிட்டது. ஆனால் உறைதல் நடைபெறவில்லை. பூச்சியத்திலிருந்து சில டிகிரிகள் கீழேயிருக்கும் வெப்பநிலையில்தான் திரவத்தின் நடுவே படிகங்கள் தோன்றுகின்றன. அவை மாசற்ற பனிக்கட்டியின் படிகங்களாகும்; திண்மப் பனிக்கட்டியில் உப்பு கரைவதில்லை.

உறைநிலை, கரைசலின் செறிவைச் சார்ந்திருக்கிறது. கரைசலின் செறிவை அதிகரிப்பதனால், நாம் அதன் உறைநிலையை வீழ்ச்சியடையச் செய்கிறோம். தெவிட்டிய கரைசலே மிகக் குறைந்த உறைநிலையைக் கொண்டிருக்கிறது. கரைசலின் உறை நிலையின் வீழ்ச்சி அளவில் குறைந்ததல்ல: இவ்வாறாக, தண்ணீரில் சோடியம் குளோரைடின் தெவிட்டிய கரைசல் —21°C ல் உறைகிறது. மற்ற உப்புக்களின் உதவியால் இதைவிட அதிகமான வீழ்ச்சியை நாம் பெற முடிகிறது. கரைசலின் உறைநிலையை —55°C க்குக் குறைப்பதற்குக் கால்சியம் குளோரைடு நமக்கு உதவியாயிருக்கிறது.

உறைதலின் செயல்முறை எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பதைப் பற்றி இப்பொழுது நாம் பார்ப்போம். கரைசலிலிருந்து முதல் பனிக்கட்டிப் படிகங்கள் வெளிப்பட்ட பின்னர் கரைசலின் செறிவு அதிகரிக்கிறது. இப்பொழுது அந்நிய மூலக்கூறுகளின் சார்பு எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது; தண்ணீரின் படிகவாக்கச் செயல்முறை எதிர் நோக்கும் தடைகளும் அதிகரிக்கின்றன; உறைநிலை வீழ்ச்சியடைகிறது. நாம் வெப்பநிலையை மேலும் குறைக்காவிட்டால் படிகவாக்கம் தடைப்படும். வெப்பநிலையை மேலும் குறைக்கும் பொழுது, தண்ணீர்ப் (கரைப்பான்) படிகங்கள் கரைசலிலிருந்து பிரிந்து வெளிப்படுதல் தொடர்கிறது. இறுதியில் கரைசல் தெவிட்டிய நிலையை அடைகிறது. கரைசலில் கரைபொருளின் அளவை மேலும் அதிகரிப்பது சாத்தியமாவதில்லை; ஆகவே கரைசல் உடனேயே உறைந்துவிடுகிறது. மேலும், உறைந்த கலவையை நாம் நுண்ணோக்கியின் வழியே பார்த்தால், அது பனிக்கட்டிப் படிகங்களாலும் உப்புப் படிகங்களாலும் ஆக்கப்பட்டிருப்பதைப் பார்க்கலாம்.

இதனால் கரைசலின் உறைதல் எளிய திரவத்தின் உறைதலைப் போன்றதல்ல. உறைதலின் செயல்முறை வெப்பநிலையின் ஒரு நீண்ட இடைவெளி முழுவதிலும் நடை பெறுகிறது.

உறைந்த மேற்பரப்பு ஒன்றின் மீது நாம் உப்பைத் தூவினால் என்ன நிகழும்? இருப்பூர்தி தங்கு வெளியிட அலுவலர்க்கு இக்கேள்வியின் பதில் நன்கு தெரிந்திருக்கும். உப்பு, பனிக்கட்டியுடன் தொடர்பு கொள்ள ஆரம்பித்த உடனேயே பனிக்கட்டி உருக ஆரம்பிக்கிறது. இவ்வியற்பாடு நடைபெற வேண்டுமானால், தெவிட்டிய உப்புக் கரைசலின் உறைநிலை, காற்றின் வெப்பநிலையைவிடக் குறைவானதாய் இருக்க வேண்டியது அவசியமாயிருக்கிறது. இந்நிபந்தனை நிறைவேற்றப்படும் பொழுது, பனிக்கட்டி,

உப்பு ஆகியவற்றாலான கலவை, கரைசல் உறுதியாக நிலை பெற்றிருக்கும் பகுதியாகிய, அந்நிய நிலைப் பகுதியில் இருக்கிறது. ஆகவே பனிக்கட்டி, உப்புடன் சேர்ந்து அமைந்திருக்கும் கலவை ஒரு கரைசலாக மாறுகிறது; அதாவது பனிக்கட்டி உருகி, இவ்வாறு கிடைக்கப்பெற்ற தண்ணீரில் உப்பு கரையும். முடிவில் பனிக்கட்டி முழுவதும் உருகிவிடும். அல்லது கரைசலின் உறைவுநிலை சுற்றுப் புறத்தின் வெப்பநிலைக்குச் சமமாயிருக்கும்படி அதற்கு உகந்த செறிவுடைய கரைசல் உண்டாக்கப்படும்.

100 சதுர மீட்டர்கள் பரப்பளவுடைய சுற்று வட்ட வெளி, 1 செ.மீ திண்மம் உடைய பனிப்படுகையால்—கிட்டத்தட்ட ஒரு டன் அளவுள்ள அதிகமான பனிக்கட்டியால்—மூடப்பட்டிருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். 45 கி/லி என்னும் செறிவைக் கொண்டிருக்கும் உப்புக் கரைசலின் உறை (உருகு) நிலையாகிய —3°C என்னும் வெப்பநிலையில் இருக்கும் பொழுது, இந்த அளவுப் பனிக்கட்டியை உருகச் செய்வதற்கு எவ்வளவு உப்பு தேவைப்படுகிறது என்பதைக் கணக்கிடுவோம். ஒரு லிட்டர் தண்ணீர் கிட்டத்தட்ட ஒரு கிலோகிராம் பனிக்கட்டிக்கு உகந்ததாய் இருக்கிறது. ஆகவே ஒரு டன் பனிக்கட்டியை —3°Cல் உருகச் செய்வதற்கு 45 கி.கி உப்பு தேவைப்படுகிறது. பனிக்கட்டி முழுவதையும் நாம் உருகச் செய்ய விரும்பாததால், நடைமுறையில் இதைவிடச் சற்றுக் குறைவான அளவே பயன்படுத்தப்படுகிறது.

பனிக்கட்டி உப்புடன் சேர்க்கப்படும் பொழுது உருகுகிறது; உப்பு தண்ணீரில் கரைகிறது. ஆனால் உருகுவதற்கு வெப்பம் தேவைப்படுகிறது. பனிக்கட்டி இவ்வெப்பத்தைச் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து எடுத்துக் கொள்கிறது. ஆகவே பனிக்கட்டியுடன் உப்பைச் சேர்த்தல் வெப்பநிலை வீழ்ச்சிக்கு வழிவகுக்கிறது.

இப்பொழுது நாம் குளிர் பாலேட்டை வாங்கி உபயோகப்படுத்தும் பழக்கத்தைக் கொண்டிருக்கிறோம். ஆனால் முன்னதாக இது வீட்டிலேயே தயாரிக்கப்பட்டது. உப்புடன் கூடிய பனிக்கட்டியின் கரைசல் குளிர்ப்பெட்டியின் வேலையைச் செய்தது.

கரைசல்களின் கொதித்தல்

கரைசல்களின் கொதித்தலின் இயற்பாடு அவற்றின் உறைதலின் இயற்பாட்டுடன் பல பொதுவான அம்சங்களைக் கொண்டிருக்கிறது.

கரைக்கப்பட்டிருக்கும் பொருள் படிகவாக்கத்துக்குத் தடையாய் இருக்கிறது. இதே காரணங்களால் கரைக்கப்பட்டிருக்கும் பொருள் கொதித்தலுக்கும் தடையாய் இருக்கிறது. இரு நிகழ்ச்சிகளிலுமே கூடிய மட்டும் அதிக நீர்ப்புடைய கரைசலைப் பாதுகாத்துக் கொள்வதற்காக அந்நிய மூலக்கூறுகள் கடுமையாக முயற்சி செய்வது போலத் தோன்றுகிறது. இன்னொரு விதமாகக் கூறினால், அந்நிய மூலக்கூறுகள் அவற்றைக் கரைக்கும் இயல்புடைய அடிப்படை பொருளின் (அதன் நிலைபேற்றுக்கு உதவி செய்கின்றன) நிலையை உறுதியாக்குகின்றன.

ஆகவே அந்நிய மூலக்கூறுகள் திரவத்தின் படிகவாக்கத்தைத் தடை செய்து, அதனால் அதன் உறைநிலையை வீழ்த்துகிறது. சரியாக இதே முறையில்தான் அந்நிய மூலக்கூறுகள் திரவத்தின் கொதித்தலையும் தடை செய்து, அதனால் அதன் கொதிநிலையை உயர்த்துகின்றன.

செறிவு ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்பினுள் இருக்கும்பொழுது (அதிகச் செறிவுடைய கரைசல்கள் அல்லாமல்), கரைசலின் உறைநிலையின் வீழ்ச்சியோ அல்லது அதன்

கொதிநிலேயின் ஏற்றமோ மிகச் சிறிய அளவிலும் கூடக் கரைப்பானின் பண்புகளைச் சார்ந்திருக்காமல், ஆனால் அணு மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையால் மட்டுமே தீர்மானிக்கப் படுகிறது என்பது நமது ஆர்வத்தைத் தூண்டுவதாக அமை கிறது. கரையும் பொருட்களின் மூலக்கூறு எடையைக் கணிப்பதில் கவனத்தைக் கவரும் இச்சூழ்நிலேயே பயன்ப டுத்தப்படுகுறது. உறைநிலே அல்லது கொதிநிலேயில் ஏற் படும் மாற்றத்தைக் கரைசலின் அலகு கன அளவில் அடங் கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையுடன் (உறைதலின் வெப்பம் அல்லது ஆவியாதலின் வெப்பத்துடனும்) சம் பந்தப்படுத்திக் கூறும் முக்கியமான சூத்திரத்தின் உதவியு டன் இது செய்யப்படுகிறது.

தண்ணீரின் உறைநிலே வீழ்ச்சியில் மூன்றில் ஒரு பங்கு அளவே அதன் கொதிநிலே ஏற்றப்படுகிறது. இவ்வாருக, கிட்டத்தட்ட 3.5% அளவு உப்பைக் கொண்டிருக்கும் கடல் நீர் 100.6°C என்னும் கொதிநிலேயைக் கொண்டிருக்கிறது. இதே நேரத்தில் அதன் உறைநிலே 2°C வீழ்ச்சியடைகிறது.

ஒரு திரவம் மற்ருெரு திரவத்தைக் காட்டிலும் உயர்ந்த வெப்பநிலேயில் கொதித்தால் (அதே வெப்பநிலேயில்), அதன் ஆவியழுத்தம் மற்றதன் ஆவியழுத்தத்தைவிடக் குறைவான தாயிருக்கிறது. ஆகவே கரைசலின் ஆவியழுத்தம், மாசற்ற கரைப்பானின் ஆவியழுத்தத்தைவிடக் குறைவானதாயிருக் கிறது. கீழே தரப்பட்டிருக்கும் எண்களின் அடிப்படையில் இவ்வித்தியாசத்தை நாம் மதிப்பிட முடிகிறது: 20°Cல் நீரின் ஆவியழுத்தம் 17.5 மி.மீ பாதரச அளவுக்குச் சம மாயிருக்கிறது. அதே வெப்பநிலேயில் தெவிட்டிய சோடி யம் குளோரைடு கரைசலின் ஆவியழுத்தம் 13.2 மி.மீ பாதரச அளவாக இருக்கிறது.

தண்ணீரின் ஆவி 15 மி.மீ பாதரச அளவு அழுத்தத் தில் தெவிட்டிய நிலேயை அடையாமலிருக்கும் பொழுது,

தெவிட்டிய உப்புக் கரைசலின் ஆவி இதே அழுத்தத்தில் மீத்தெவிட்டிய நிலையை அடைகிறது. இத்தகையக் கரைசலின் முன்னிலையில் ஆவி குவிப்படைய ஆரம்பித்து, கரைசலுடன் இணைய ஆரம்பிக்கிறது. உண்மையில் உப்புக் கரைசல் மட்டுமின்றிப் பொடி செய்யப்பட்ட உப்பும் கூடக் காற்றிலிருந்து நீராவியை எடுத்துக் கொள்ள முடிகிறது. உண்மையில் உப்பின் மீது விழும் முதல் நீர்த்துளியே அதைக் கரைத்துத் தெவிட்டிய கரைசலை உண்டாக்கிவிடும்.

காற்றிலிருந்து நீராவி உறிஞ்சுவதுதான் உப்பு ஈரமாவதற்குக் காரணமாகும். இது விருந்தோம்புவர்களுக்கு நன்கு தெரிந்திருக்கும். இது அவர்களுக்கு வருத்தத்தைக் கொடுக்கிறது. கரைசலின் மேல் நிலைபெற்றிருக்கும் ஆவியழுத்தத்தின் குறைவை ஏற்படுத்தும் இவ்வியற்பாடு நன்மையாகவும் இருக்க முடியும். சோதனைச்சாலையின் வழக்கப்படி இது காற்றை உலரச் செய்வதற்குப் பயன்படுகிறது. காற்றிலிருந்து ஈரத்தை எடுப்பதில் முன்னிலையில் நிற்கும் கால்சியம் குளோரைடு வழியாகக் காற்று செலுத்தப்படுகிறது. தெவிட்டிய சோடியம் குளோரைடு கரைசல் 13.2 மி.மீ பாதரச அளவுடைய ஆவியழுத்தத்தைக் கொண்டிருக்கையில் கால்சியம் குளோரைடின் ஆவியழுத்தம் 5.6 மி.மீ பாதரச அளவாக மட்டுமே இருக்கிறது. போதுமான அளவு கால்சியம் குளோரைடின் வழியாக (1 கி.கி கால்சியம் குளோரைடு கிட்டத்தட்ட 1கி.கி தண்ணீரை உறிஞ்சும் தன்மையைக் கொண்டிருக்கிறது) நீராவி செலுத்தப்படும் பொழுது, நீராவியின் அழுத்தம் இம்மதிப்புக்கு வீழ்ச்சியடைகிறது. இது ஒதுக்கிவிடக்கூடிய அளவிலான ஈரப்பத்தால் இத்தகைய காற்று உலர்ந்திப்பதாகக் கருதப்படலாம்.

சேர்க்கைப் பொருள்களிலிருந்து திரவங்கள் எவ்வாறு விடுவிக்கப்படுகின்றன?

சேர்க்கைப் பொருள்களிலிருந்து திரவங்களைப் பிரித்தெடுக்கும் மிக முக்கியமான முறைகளில் ஆவியாக்கி வடித்தலும் ஒன்றாகும். திரவத்தைக் கொதிக்கச் செய்து, அதன் ஆவி குளிர் பதனப்பெட்டியினுள் அனுப்பப்படுகிறது. குளிர்விக்கப்படும் பொழுது ஆவி திரும்பவும் திரவமாக மாறுகிறது, ஆனால் இத்திரவம் ஆரம்பத்திலிருந்து திரவத்தைவிட மாசற்றதாய் இருக்கிறது.

ஆவியாக்கி வடித்தலின் மூலம் திரவத்தில் கரைந்திருக்கும் திடப் பொருட்களை அகற்றுவது எளிதாயிருக்கிறது. நீராவியில் நடைமுறை சாத்தியமாக இத்தகைய திடப் பொருட்களின் மூலக்கூறுகள் கலந்திருப்பதில்லை. முற்றிலும் ருசி இல்லாத, கனிச்சத்துக்கள் நீக்கப்பட்ட மாசற்ற (distilled) தண்ணீர் இம்முறையில்தான் பெறப்படுகிறது.

ஆயினும், ஆவியாதலை உபயோகித்துத் திரவச் சேர்க்கைப் பொருட்களை நாம் நீக்க முடியும்: இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட திரவங்களைக் கொண்ட கலவையையும் பிரித்தெடுக்க முடிகிறது. ஒரு கலவையில் அடங்கியிருக்கும் இரு திரவங்களும் ஒரே அளவு ''சுலபமாக''க் கொதிப்பதில்லை என்ற உண்மையை நாம் இங்கு உபயோகிக்கிறோம்.

இரு திரவங்களால் அமைக்கப்பட்ட கலவை, உதாரணமாக, சம அளவுகளில் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட தண்ணீர், எதில் ஆல்கஹால் முதலியவற்றாலான கலவையைக் (50% வோட்கா) கொதிக்க வைக்கும் பொழுது, அது எவ்வாறு நடந்து கொள்கிறது என்பதை நாம் பார்ப்போம்.

இயல்பான அழுத்தத்தின் கீழ் தண்ணீர் 100°C லும் ஆல்

கஹால் 78°C லும் கொதிக்கின்றன. நாம் எடுத்துக் கொண்ட கலவை 81.2° என்னும் இடைப்பட்ட வெப்பநிலையில் கொதிக்கும் ஆல்கஹால் மிக எளிதாகக் கொதிக்கிறது, ஆகவே இதன் ஆவியமுத்தம் அதிகமாயிருக்கிறது. ஆரம்பத்தில் கலவையில் ஐம்பது சதவீதம் ஆல்கஹால் இருந்தால், ஆவியின் முதல் கூறு 80% ஆல்கஹாலைக் கொண்டிருக்கிறது.

இவ்வாறு கிடைக்கப்பெற்ற ஆவியின் கூற்றை நாம் குளிர்ப்பதனப்பெட்டியினுள் அனுப்பி ஆல்கஹாலை அதிகமாகக் கொண்டிருக்கும் கலவையைப் பெற முடியும். இச் செயல்முறை மீண்டும் மீண்டும் செய்யப்படலாம். ஆயினும் அடுத்தடுத்து செய்யப்படும் ஒவ்வொரு ஆவியாக்கி வடித்தலின் போதும் அதற்கு முந்திய நிலையில் கிடைத்ததைவிடக் குறைவான அளவிலேயே பொருள் கிடைப்பதால், இம்முறை நடைமுறையில் சாத்தியமானதல்ல என்பது தெரிய வருகிறது. திரவத்தைச் சுத்தப்படுத்துக் முயற்சியில் இத்தகைய இழப்பு ஏதும் ஏற்படாமலிருப்பதற்காகத் திருத்தும் ஸ்தம்பங்கள் (rectifying columns, அதாவது சுத்தப்படுத்தும்) என்றழைக்கப்படும் உபகரணங்கள் உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன.

முக்கியம் வாய்ந்த இக்கருவியின் இயல்பமைப்பின் அடிப்படைக் கருத்து கீழ்வருமாறு: அடிப்பாகத்தில் திரவக் கலவையைக் கொண்டிருக்கும் நிலைக்குத்தான ஸ்தம்பத்தைக் கற்பனை செய்து கொள்ளவும். ஸ்தம்பம் கீழிருந்து சூடேற்றப்படுகிறது; மேலிருந்து குளிர்விக்கப்படுகிறது; கொதித்தலின் போது வெளிவரும் ஆவி மேலெழுந்து சென்று குவிப்படைகிறது. இவ்வாறு கிடைக்கப்பெற்ற திரவம் கீழ்நோக்கிப் பாய்கிறது. கீழேயிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பச் சேர்க்கையும் அது மேலிருந்து திரும்பப் பெறப்படுதலும் நிகழும் பொழுது, ஆவி மேல்நோக்கிச் செல்வதும் திரவம்

கீழ்நோக்கிப் பாய்வதும் ஆகிய சம எதிர் ஓட்டங்கள், மூடிய ஸ்தம்பத்தினுள் நிகழுமாறு அமைக்கப்படுகின்றன.

ஸ்தம்பத்தின் ஏதாவதொரு கிடைமட்ட குறுக்கு வெட்டுவாயின் மீது நம் கவனத்தைச் செலுத்துவோம். இக்குறுக்கு வெட்டின் வாயின் வழியே ஆவி மேல்நோக்கியும் திரவம் கீழ்நோக்கியும் கடந்து செல்கின்றன; மேலும் திரவக் கலவையைத் தொகுத்திருக்கும் பொருட்களில் எதுவும் தங்கிவிடுவதில்லே. தண்ணீரும் ஆல்கஹாலும் சேர்ந்த கலவையைக் கொண்டிருக்கும் ஸ்தம்பம் ஒன்றை நாம் கவனித்துக் கொண்டிருந்தால், மேல்நோக்கியும் கீழ்நோக்கியும் கடந்து செல்லும் தண்ணீரின் அளவுகளைப் போலவே மேல்நோக்கியும் கீழ்நோக்கியும் கடந்து செல்லும் ஆல்கஹாலின் அளவுகளும் சமமாயிருக்கின்றன. ஆவி மேல்நோக்கிச் சென்று கொண்டிருப்பதுவும் திரவம் கீழ்நோக்கி வந்து கொண்டிருப்பதுவும் ஸ்தம்பத்தின் எந்த உயரத்திலும் திரவம், ஆவி முதலியவற்றின் ஆக்க அமைவுகள் சர்வசமமாயிருக்கின்றன என்ற அர்த்தத்தைக் கொடுக்கின்றன.

சற்று முன்னர் விவரிக்கப்பட்டது போன்றே, இரு பொருட்களாலான கலவையின் திரவம், ஆவி முதலியவற்றின் கட்டங்கள் சமநிலேயில் இருக்க வேண்டுமானல், இதற்கு மாருக இவ்விரு கட்டங்களின் ஆக்க அமைவுகளுக்கிடையே வேறுபாடு தேவையாயிருக்கிறது. ஆகவே ஸ்தம்பத்தின் ஒவ்வொரு உயரத்திலும் திரவம், ஆவி நிலேயையும் ஆவி, திரவ நிலேயையும் அடையும் மாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன. மேலும் கலவையின் உயர் கொதிநிலேயைக் கொண்ட பகுதி குவிப்படைகிறது; தாழ்ந்த கொதிநிலேயைக் கொண்ட பகுதி திரவ நிலேயிலிருந்து ஆவியாக மாறுகிறது.

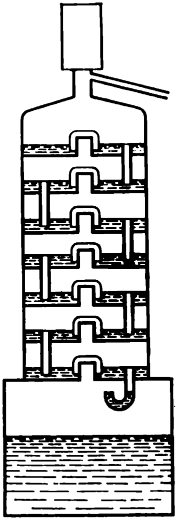
இதன் விளேவாக, எல்லா உயரங்களிலும் தாழ்ந்த கொதிநிலேயையுடைய பகுதியை மேல்நோக்கிச் செல்லும் ஆவியின் ஓட்டம் தன்னுடன் எடுத்துச் செல்வதாகவும் கீழ்

நோக்கி இறங்கும் திரவ ஓட்டத்தில் உயர் கொதிநிலையைக் கொண்ட பகுதியின் சேர்க்கை தொடர்ந்து அதிகரிப்பதாகவும் தோன்றுகிறது. ஒவ்வொரு உயரத்திலும் கலவையின் ஆக்க அமைவு வித்தியாசப்படுகிறது: அதிக உயரத்திலிருக்கும் கலவையில் தாழ்ந்த வெப்பநிலையைக் கொண்ட பகுதியின் சதவீதம் அதிகமாயிருக்கிறது. இயல்பான சூழ்நிலையில் தாழ்ந்த கொதிநிலையைக் கொண்ட பகுதியின் மாசற்ற படுகை உச்சியில் அமைந்திருக்கும்; அடியில் உயர் கொதிநிலையைக் கொண்ட பகுதியின் மாசற்ற படுகை அமைந்திருக்கும்.

இப்பொழுது தாழ்ந்த வெப்பநிலையைக் கொண்ட பொருளை மேலிருந்து உயர் வெப்பநிலையைக் கொண்ட பொருளைக் கீழிருந்தும் சற்று முன்னர் விவரித்த இயல்பான சூழ்நிலை மாற்றமின்றி நீடிக்கும்படி கூடுமானவரை மெதுவாக வெளியில் எடுக்க வேண்டும்.

நடை முறையில் பிரித்தல் அல்லது மாசு நீக்குதல் நடைபெற வேண்டுமானுல், முழுவதும் பின்னிக் கலந்திடும் சாத்தியக்கூற்றை, ஆவி, திரவம் ஆகியவற்றின் சம எதிர் ஓட்டங்களுக்கு நாம் கொடுக்க வேண்டும். இந்நோக்கத்திற்காக ஒன்றுக்கு மேல் ஒன்ருகப் பரப்பப்பட்டு வழிந்தோடும் குழாய்களின் வழியே இணைக்கப்பட்டிருக்கும் தட்டுக்களின் உதவியால் திரவம், ஆவி முதலியவற்றின் ஓட்டங்கள் தாமதப்படுத்தப்படுகின்றன. அளவுக்கு அதிகமாக நிறைக்கப்பட்ட தட்டு ஒன்றிலிருந்து கீழ்மட்டத்தை நோக்கித் திரவம் பாய முடிகிறது. வேகமான ஓட்டத்துடன் (0.3—1மீ/வி) மேல்நோக்கிச் செல்லும் ஆவி, மெல்லிய திரவப் படுகையின் ஊடே அதற்கான வழியை ஏற்படுத்திக் கொள்கிறது. படம் 107ம் ஸ்தம்பத்தின் விளக்கப்படம் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

திரவத்தை முழுவதுமாகச் சுத்தப்படுத்துவதில் நாம் எப்பொழுதுமே வெற்றியடைய முடியாது. சில கலவைகள் விரும்பத்தகாத பண்பைக் கொண்டிருக்கின்றன: ஒரு குறிப்பிட்ட ஆக்க அமைவின் போது, ஆவியாகும் மூலக்கூறுகளின் ஆக்ககூறுகளின் விகிதம், திரவக் கலவையின் ஆக்கக்கூறுகளின் விகிதத்துக்குச் சமமாகும். இச்சூழ்நிலையில் மேலே விவரிக்கப்பட்ட முறையில் மேற்கொண்டு சுத்தப்படுத்துதல் சாத்தியமாவதில்லை. 96% ஆல்கஹாலையும் 4% தண்ணீரையும் கொண்ட கலவை இவ்வகையைச் சேர்ந்ததாகும். இதே ஆக்க அமைவுடன் கொண்ட ஆவியை இது கொடுக்கிறது. இதனுல் ஆவியதல் என்னும் முறையினுல் அதிகபட்சமாக 96% சுத்தமான ஆல்கஹாலையே பெற முடிகிறது.



படம் 107

வேதியியல் சார்ந்த தொழில் நுணுக்கவியலில் திரவங்களைச் சுத்தப்படுத்துதல் (ஆவியாக்கி வடித்தல்) முக்கியமான செயல்முறையாக அமைந்திருக்கிறது. உதாரணமாக, சுத்தப்படுத்துதலின் மூலமாகத்தான் எண்ணெயிலிருந்து கல்லெண்ணெய் பெறப்படுகிறது.

சுத்தப்படுத்துதல் என்னும் முறையினுல்தான் ஆக்ஸிஜன் மிகக் குறைந்த செலவில் பெறப்படுகிறது என்னும் உண்மையும் கருத்தைக் கவர்வதாய் இருக்கிறது. இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமாஞல் காற்றை முன்னதாகவே நாம் திரவக் கட்டத்துக்குக் கொண்டு வர வேண்டும். பின்னர் சுத்தப்படுத்துதலின் மூலமாக நாம் இதைக் கலப்பற்ற நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் ஆகிய ஆக்ககூறுகளாகப் பிரிக்க முடிகிறது.

திடப்பொருட்களைச் சுத்தம் செய்தல்

வேதியியல் பொருளைக் கொண்டிருக்கும் புட்டியின் மேல் அப்பொருளின் வேதியியல் பெயருக்கு அருகிலேயே சட்டத்தின்படி எழுதப்பட்டிருக்கும் கீழ்வரும் குறிப்புகளை நாம் பார்க்க முடிகிறது: ''சுத்தமானது, பகுத்தலுக்குப் பயன்படும் அளவுக்குச் சுத்தமானது, நிறமாலைப் பகுப்பாய்வின் படி சுத்தமானது''. பொருளின் கலப்பற்ற தன்மையின் அளவைக் குறிப்பதற்கு இச்சொற்றொடர்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. சுத்தமானது என்றால் சிறிதளவே சுத்தமானது என்பது பொருளாகும். பொருளில் 1% சேர்க்கைப் பொருள் கலந்திருக்கக் கூடும். பகுத்தலுக்குப் பயன்படும் அளவுக்குச் சுத்தமானது என்றால் அப்பொருள் ஒரு சதவீதத்தில் பத்துக்களின் வீதத்தில் ஒரு பகுதி அளவிலான சேர்க்கைப் பொருளைக் கொண்டிருக்கிறது என்பது அர்த்தமாகும். ஒரு சதவீதத்தில் சில ஆயிரங்களில் ஒரு பகுதி அளவுடைய சேர்க்கைப் பொருளை நிறமாலைப் பகுப்பாய்வு அடையாளங்காண முடியுமாதலால் நிறமாலைப் பகுப்பாய்வின்படி சுத்தமானது என்று குறிக்கப்படும் பொருளைப் பெறுவது எளிதன்று. ''நிறமாலைப் பகுப்பாய்வின்படி சுத்தமானது'' என்ற வாசகம், பொருளின் கலப்பற்ற தன்மை குறைந்த பட்சம் ''நான்கு ஒன்பதுகளால்'' குறிக்கப்படும் அளவுக்குப் பொருள் சுத்தமானது, அதாவது அடிப்படைப் பொருளின் உள்ளடக்கம் 99.99%க்குக் குறையாமலிருக்கிறது என்ற நம்பிக்கையை நமக்கு அளிக்கிறது.

கலப்பற்ற பொருட்கள் மிக அளவில் தேவைப்படுகின்றன. ஒரு சதவீதத்தில் சில ஆயிரங்களில் ஒரு பகுதி அளவுடைய சேர்க்கைப் பொருட்களால் பொருளின் இயற்பியல் பண்புகள் பலவற்றை மாற்றியமைக்க முடியும். நவீன தொழில் நுணுக்கவியலில் தனிச்சிறப்பு வாய்ந்த பிரத்யேக

பிணக்குகளில் ஒன்ருகிய குறைகடத்திகளைப் பெறுவதில் தொழில் நுணுக்கவியல் அறிஞர்களுக்கு எழு ஒன்பதுகளைக் கொண்ட கலப்பற்ற தன்மை தேவையாயிருக்கிறது. நமக்குத் தேவையான பத்து மில்லியன் அணுக்களுக்கு இடையே அமைந்திருக்கும் அவசியமற்ற அணு, பொறியியல் பிணக்குகளுக்குத் தீர்வு காண்பதிலிருந்தும் நம்மைத் தடுக்கிறது! இப்படிப்பட்ட மீ உயர் சுத்தப் பொருட்களைப் பெறுவதற்கு நாம் சில பிரத்யேக முறைகளின் துணையை நாடுகிருேம்.

உருகிய பொருண்மையிலிருந்து வளர்ந்து கொண்டிருக்கும் படிகத்தை மெதுவாக வெளியே எடுப்பதன் மூலம் மீ உயர் சுத்தமான செருமானியம், சிலிகான் (கறைகடத்திகளின் முக்கிய அங்கத்தினர்களாகும்) முதலியவற்றைப் பெற முடிகிறது. முனையில் வித்துப்படிகம் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் கம்பி உருகிய நிலையிலிருக்கும் சிலிகானின் (அல்லது செருமானியம்) மேற்பரப்புக்குக் கொண்டு வரப்படுகிறது. பின்னர் கம்பியை நாம் மெதுவாக மேல்நோக்கி இழுக்க ஆரம்பிக்கிருேம். உருகிய பொருண்மையிலிருந்து வெளி வந்து கொண்டிருக்கும் படிகம், அடிப்படைப் பொருளின் அணுக்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது; சேர்க்கைப் பொருளின் அணுக்கள் உருகிய பொருண்மையிலேயே தங்கிவிடுகின்றன.

மண்டில மாசகற்றுதல் என்ற முறை மிகப் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகிறது. சுத்தம் செய்யப்பட வேண்டிய பொருளிலிருந்து எதேச்சையான நீளத்தையும் சில மில்லிமீட்டர்கள் விட்டத்தையும் கொண்ட கம்பி செய்யப்படுகிறது. இதைச் சூழ்ந்து அமைந்திருக்குமாறு சிறு வளை வடிவ அடுப்பு இதனருகில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. உருகுதலுக்குப் போதுமான அளவு அதிக வெப்பநிலை அடுப்பில் நிலைத்திருக்கிறது; ஆகவே அடுப்பின் உள்ளே அமைந்திருக்கும் கம்பியின் பகுதி உருகுகிறது. ஆகவே உருகிய

உலோகத்தின் சிறு மண்டிலம் கம்பியுடன் சேர்ந்து நகருகிறது.

சேர்க்கைப் பொருளின் அணுக்கள் பொதுவாகத் திடப் பொருளைக் காட்டிலும் திரவத்திலேயே மிக எளிதில் கரைகின்றன. இதன் விளைவாக உருகிய மண்டிலத்தின் எல்லைகளில் சேர்க்கைப் பொருளின் அணுக்கள் திடப்பொருள் பகுதிகளிலிருந்து உருகிய மண்டலத்தினுள் நுழைகின்றனவே தவிர எதிர்த்து வருவதில்லை. நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் உருகிய மண்டிலம், உருகிய பொருண்மையுடன் சேர்க்கைப் பொருட்களின் அணுக்களையும் சேர்த்து இழுத்துக் கொண்டு செல்வது போன்று தோன்றுகிறது. எதிர் இயக்கத்தின் போது அடுப்பு அணைக்கப்படுகிறது. உருகிய மண்டிலத்திலிருந்து உலோகக் கம்பியை இழுக்கும் செயல் பல தடவைகள் மீண்டும் மீண்டும் செய்யப்படுகிறது. போதுமான தடவைகள் இவ்வாறு செய்த பின்னர் கம்பியின் மாசு படர்ந்திருக்கும் நுனியை அறுத்தெடுப்பதே நாம் செய்ய வேண்டியதாயிருக்கிறது. வெற்றித்திடனுள்ளோ அல்லது செயலிலி வாயுவின் வளிமண்டலத்திலோ மீ உயர் சுத்தப் பொருட்கள் பெறப்படுகின்றன.

அந்நிய அணுக்கள் அதிகமான விகிதாச்சாரத்தில் கலந்திருக்கும் பொழுது, சுத்தப்படுத்துதல் ஏனைய முறைகளின் மூலமாகச் செய்யப்படுகிறது. மண்டில உருக்குதலும் உருகிய உலோகத்திலிருந்து படிகத்தை வெளியே இழுப்பதும் பொருளின் இறுதி நிலை சுத்தப்படுத்துதலின் போது பயன் படுத்தப்படுகிறது.

புறமுகக் கவர்தல்

வாயுக்கள் மிக அரிதாகவே திடப் பொருட்களில் கரைகின்றன, அதாவது இவை மிக அரிதாகவே படிகங்களை ஊடுருவிச் செல்கின்றன. ஆனால் மற்றொரு வகையில்

வாயுக்கள் திடப்பொருட்களால் உறிஞ்சப்படுதலும் அறியப்பட்டிருக்கிறது. வாயுவின் மூலக்கூறுகள் திடப் பொருளின் புறப்பரப்பின் மீது போய்க் குவிகின்றன—தனித் தன்மை வாய்ந்த இவ்வொட்டிக் கொள்ளும் பண்பு, புற முகக் கவர்தல் (adsorption) என அழைக்கப்படுகிறது.* இவ்வாறு மூலக்கூறுகள் பொருளின் உள்ளே ஊடுருவிச் செல்ல முடியாமல் அதன் புறப்பரப்புகளில் ஒட்டிக் கொள்வதில் வெற்றி பெறும் பொழுது புறமுகக் கவர்தல் நிகழ்கிறது.

புறமுகக் கவர்தல் என்றால் புறப்பரப்பால் உறிஞ்சப் படுதல் என்பது அர்த்தமாகும். ஆனால் இத்தகையதொரு இயற்பாடு உண்மையில் எந்த வகையிலாவது முக்கியமான பங்கு ஆற்றமுடியுமா? உண்மையில் பெரிய பொருளின் மேல் அமைந்திருக்கும் மூலக்கூற்றின் திண்மையுடைய படுகை ஒரு கிராமில் ஒதுக்கிவிடக்கூடிய பகுதி எடையையே கொண்டிருக்கிறது.

இதற்குப் பொருத்தமான கணக்கீடுகளை நாம் மேற் கொள்ளுவோம்: ஒரு சிறு மூலக்கூற்றின் பரப்பளவு கிட்டத் தட்ட 10 சதுர ஆங்க்ஸ்ட்ரொங்கள் (angstroms), அதாவது 10^{-15} செ. மீ^{2}க்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆகவே 1 செ.மீ^{2} பரப்பளவில் 10^{15} மூலக்கூறுகள் அடங்கியிருக்கின்றன. இத்தனை அதிக எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறுகள் (தண்ணீரின்) எடையைக் கொண்டிருப்பதில்லை. அவை 3×10^{-8} கிராம் என்னும் எடையையே கொண்டிருக்கின்றன. ஒரு சதுர மீட்டர் பரப்பளவில் கூட 0.0003 கிராம் எடையைக் கொண்ட தண்ணீரே அடங்கியிருக்கிறது.

---

* புறமுகக் கவர்தலை உள்ளே ஏற்றுக் கொள்ளுதல் (absorption) என்னும் பொருளுடைய உறிஞ்சுதல் எனத் தவறாக எண்ணக் கூடாது.

நூற்றுக்கணக்கான சதுர மீட்டர்கள் பரப்பளவுடைய புறப்பரப்புகளின் மேல் இதைவிட அதிக அளவில் பொருட்கள் அமைந்திருக்கலாம். 100 மீ^{2}ல் 0.03 கி எடையைக் கொண்ட (10^{21} மூலக்கூறுகள்) அதிக அளவிலான தண்ணீர் இருக்கிறது.

ஆனால் நம் ஆய்வகங்களில் நடைமுறை சாத்தியமாக இவ்வளவு அதிகப் பரப்பளவைக் கொண்ட புறப்பரப்புகளை நாம் சந்திக்க நேரிடுகிறதா? ஆயினும், தேநீர்க் கரண்டியின் முனை அளவுடைய சிறு பொருட்கள் கூடச் சில நேரங்களில் நூற்றுக்கணக்கான சதுர மீட்டர்களைக் கொண்ட அதிகமான பரப்பளவைக் கொண்டிருக்கின்றன என்பதை நம் மனதில் பதிய வைத்தல் கடினமானதல்ல.

ஒரு செ.மீ நீளமுடைய பக்கத்தைக் கொண்ட கன சதுரம் 6 செ.மீ பரப்பளவுடைய புறப்பரப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. இப்படிப்பட்ட கன சதுரத்தை 0.5 செ.மீ பக்கத்தைக் கொண்ட 8 சம கன சதுரங்களாக வெட்டுவோம். இச்சிறு கன சதுரங்கள் 0.25 செ.மீ^{2} பரப்பளவுடைய பக்கங்களைக் கொண்டிருக்கின்றன. மொத்தத்தில் இப்படிப்பட்ட பக்கங்கள் $6 \times 8 = 48$ இருக்கின்றன. அவற்றின் மொத்தப் பரப்பளவு 12 செ. மீ க்குச் சமமாகும். இங்கு புறப்பரப்பு இரட்டிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

ஆகவே பொருளை ஒவ்வொரு முறை உடைக்கும் பொழுதும் அதன் புறப்பரப்பு அதிகரிக்கிறது. இப்பொழுது நாம் 1 செ. மீ பக்கங்களைக் கொண்ட கன சதுரத்தை 1 மைக்ரான் நீளத்தைக் கொண்ட சிறிய துண்டுகளாக உடைப்போம். 1 மைக்ரோ மீட்டர் (μm) $= 10^{-4}$ செ. மீ, ஆகவே பெரிய கன சதுரம் 10^{12} துண்டுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒவ்வொரு துண்டும் (எளிதாயிருப்பதற்காக இதுவும் கன சதுர வடிவத்தைக் கொண்டிருப்பதாக நாம் தற்கோள் கொள்வோம்) 6 மைக்ரோ மிட்டர்^{2}, அதாவது

6×10^{-8} செ.மீ^{2} பரப்பளவு உடைய புறப்பரப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. துண்டுகளின் மொத்தப் புறப்பரப்பளவு 6×10^4 செ. மீ^{2}, அதாவது 6 மீ^{2} க்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவ்வாறு வரம்பின்றி உடைத்துக் கொண்டே செல்லலாம்.

நிறையலகு (specific) புறப்பரப்பு (ஒரு கிராம் பொருளின் புறப்பரப்பளவு மிகப் பெரியதாக இருக்கலாம் என்பது ஏற்றுக் கொள்ளக் கூடியதே! துணுக்கின் புறப்பரப்பளவு அதன் நீளப்பரிமாணத்தின் இருமடியின் நேர்விகிதத்தில் குறைவடைவதாலும், ஆனால் அதே நேரத்தில் கன பரிமாணத்தின் அலகில் அடங்கியிருக்கும் துணுக்குகளின் எண்ணிக்கை இந்நீளப்பரிமாணத்தின் மும்மடியின் நேர்விகிதத்தில் அதிகரிப்பதாலும் பொருளைப் பொடியாக்குவதன் மூலம் நிறையலகு புறப்பரப்பு வேகமாக அதிகரிக்கிறது. குவளையின் அடிப்பாகத்தில் ஊற்றப்பட்டிருக்கும் 1 கிராம் தண்ணீர் சில சதுர சென்டிமீட்டர்கள் புறப்பரப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. இதே பொருண்மையுடைய தண்ணீர், மழைத்துளிகளின் அமைப்பில் இருக்கும் பொழுது, பத்து சென்டிமீட்டர்கள் அளவுடைய புறப்பரப்பைக் கொண்டிருக்கக் கூடும். ஆனால் 1 கிராம் பொருண்மையைக் கொண்ட பனி சில நூறு மீட்டர்கள் அளவிலான புறப்பரப்பைக் கொண்டிருக்கிறது.

நிலக்கரித் துண்டை நாம் உடைத்தால் (நுண்ணிய பொடியாக இருத்தல் நன்று), அது அம்மோனியா, கார்பன்—டையாக்ஸைடு மற்றும் பல நச்சு வாயுக்களைப் புறமுகக் கவர்தல் மூலம் உறிஞ்சும் இயல்புடையதாயிருக்கிறது. நிலக்கரியின் இப்பண்பே, அது நச்சுப்புகைக்காப்பு முகமூடியில் (gas-mask) பயன்படுத்தப்படுவதற்குக் காரணமாக இருக்கிறது. குறிப்பாக நிலக்கரி நன்றாக உடை[illegible]கிறது. இதன் துகள்களின் நீளப்பரிமாணங்களைப் [illegible] ஆங்க்ஸ்ட்ரொங்கள் வரையிலும் குறைக்கலாம். ஆகவே

ஒரு கிராம் பொருண்மையுடைய, பிரத்யேக நிலக்கரி சில நூறு சதுர மீட்டர்கள் புறப்பரப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. நிலக்கரியுடன் கூடிய நச்சுப்புகைக்காப்பு முகமூடி பத்து லிட்டர்களின் மடங்குகளில் வாயுக்களை உறிஞ்சும் இயல்புடையதாகும்.

வேதியியல் தொழில் துறைகளில் புறமுகக் கவர்தல் மிகப் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. பரப்பின் மீது புறமுகக் கவர்தலுக்குட்பட்ட, வேறுபட்ட வாயுக்களின் மூலக்கூறுகள் ஒன்றுக்கொன்று நெருங்கிவந்து, எளிதாக வேதியியல் மாற்றங்களில் பங்கெடுத்துக் கொள்கின்றன. வேதியியல் செயல்முறைகளை வேகப்படுத்துவதற்காக, மிக நுண்ணியதாக நொறுக்கப்பட்ட உலோகங்களையும் (நிக்கல், தாமிரம் மற்றும் ஏனைய உலோகங்கள்) நிலக்கரியையும் நாம் அதிகமாகப் பயன்படுத்துகிறோம்.

வேதியியல் மாற்றத்தின் வீதத்தை அதிகரிக்கும் பொருட்கள் ஊக்கிகள் (catalysts) என அழைக்கப்படுகின்றன.

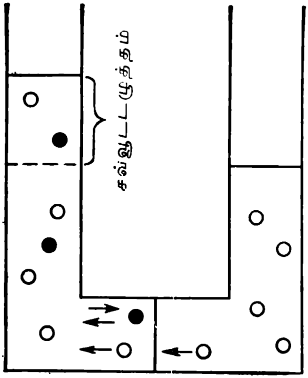
சவ்வூடு பரவல்

உயிர்த் திசுக்களுள் தனிச்சிறப்பு வாய்ந்த சில சவ்வுகள், அவற்றின் வழியே தண்ணீரில் கரைந்திருக்கும் பொருட்களின் மூலக்கூறுகள் ஊடுருவிச் செல்வதற்கு அனுமதிக்காமல் தண்ணீர் மூலக்கூறுகள் கடந்து செல்வதற்கு மட்டும் அனுமதிக்கும் இயல்பைக் கொண்டிருக்கின்றன. சவ்வூடு பரவல் (osmosis) என்னும் பெயரைத் தாங்கிய இயற்பியல் இயற்பாடு தான் இச்சவ்வுகளின் இத்தகைய பண்புகளுக்குக் காரணமாக அமைகிறது.

இத்தகைய பகுதிவிடு தடுப்பு (semipermeable partition), ப என்னும் எழுத்தின் வடிவத்தில் அமைந்திருக்கும் குழாயை இரு பாகங்களாகப் பிரிக்கிறது. குழாயின் வளைவுப் பகுதிகளில் ஒன்றில் கரைசலும் மற்றொரு பகுதியில் தண்ணீர் அல்லது மற்றொரு கரைப்பானும் ஊற்றப் படுகின்றன. இரண்டு வளைந்த பகுதிகளிலும் ஒரே அளவு திரவத்தை ஊற்றிய பின்னர் திரவ மட்டங்கள் இரண்டும் சமமாயிருக்கும் பொழுது, சமநிலை ஏற்படுவதில்லை என்பதைக் கண்டு நாம் திகைப்படைகிறோம். சிறிது நேரத்துக்குப் பின்னர் திரவங்கள் வெவ்வேறு மட்டங்களில் நிலை கொள்கின்றன. மேலும், கரைசலைக் கொண்டிருக்கும் வளைவுப் பகுதியில் திரவ மட்டம் ஏறியிருக்கிறது. பகுதிவிடு தடுப்பின் மூலமாகக் கரைசலிலிருந்து பிரிக்கப்பட்டிருக்கும் தண்ணீர், கரைசலின் செறிவைக் குறைக்க முற்படுகிறது. இவ்வியற்பாடுதான் சவ்வூடு பரவல் என்னும் பெயரைத் தாங்கி நிற்கிறது. இரு மட்டங்களுக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் உயர வித்தியாசமே சவ்வூட்டமுத்தம் என அழைக்கப்படுகிறது.

சவ்வூட்டமுத்தத்துக்குக் காரணமான வினை முதல் என்னவாகும்?

குழாயின் வலப்பக்க வளைவுப் பகுதியில் (படம் 108) தண்ணீர் மட்டுமே அழுத்தத்தைச் செயல்படுத்துகிறது. இடது பக்க வளைவுப் பகுதியில் செயல்படும் மொத்த அழுத்தமானது. தண்ணீர், கரைப்பான் முதலியவற்றின் அழுத்தங்களின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஆனால் தண்ணீருக்கு மட்டுமே வழி திறந்திருக்கிறது. வழிச்சவ்வுத் தடுப்பு ஒன்றின் முன்னிலையில் இடப்புறம் செயல்படும் அழுத்தம், வலப்புறம் செயல்படும் மொத்த அழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் பொழுது, சமநிலை ஏற்படாமல் கலப்பற்ற தண்ணீரின் அழுத்தம், கரைசலின் ''தண்ணீர்ப்''



படம் 108

பகுதியின் அழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கும் பொழுதுதான் சமநிலை ஏற்படுகிறது. மொத்த அழுத்தங்களுக்கிடையே ஏற்படும் வித்தியாசம், கரை பொருளின் அழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

இவ்வழுத்த மிகுதியே சரியாகச் சவ்வூட்டழுத்தமாகும். சவ்வூட்டழுத்தம், அதே கன அளவுடைய கரை பொருளின் மூலக்கூறுகளால் தொகுக்கப்பட்ட வாயுவின் அழுத்தத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது என்பதைச் சோதனைகளும் கணக்கீடுகளும் நிரூபிக்கின்றன. ஆதலால்தான் சவ்வூட்டழுத்தம் மிகப் பெரிய எண்களால் குறிக்கப்படுவது நமக்கு ஆச்சரியத்தைக் கொடுக்கவில்லை.

ஒரு லிட்டர் தண்ணீரில் 20 கிராம் சீனியைக் கரைப்பதனுல் உண்டாகும் சவ்வூட்டழுத்தத்தை நாம் கணக்கிடுவோம் (ஒரு குவளை தேநீரில், சர்க்கரையின் செறிவு இதைவிட அதிகமாயிருக்கக்கூடும்). $C_{12}H_{22}O_{11}$ என்னும் வேதியியல் வாய்ப்பாட்டைக் கொண்ட சீனியின் மூலக்கூற்று எடை 342 ஆகும். நமது பிணக்கின் நிபந்தனைகளின்படி ஒரு லிட்டர் தண்ணீரில் 20/342 மோல் சீனி கரைந்திருக்கிறது. ஆகவே ஒரு மோல் சீனியானது $342/20 = 17.1$ லிட்டர் தண்ணீரில் கரைந்திருக்கும். ஆனுல் $0°C$ வெப்பநிலையையும் ஒரு வளியழுத்தத்துக்குச் சமமான அழுத்தத்தையும் கொண்ட ''இயல்பான'' சூழ்நிலையின் கீழ் ஒரு மோல் அளவுடைய வாயு 22.4 லிட்டர் அளவுள்ள கன பரிமாணத்தை அடைத்துக் கொள்கிறது. இலட்சிய வாயுக்

களின் விதிகளின்படி வாயு என எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட சீனியில் அழுத்தம் 0°C ல் 22.4/17.1 வளியழுத்தங்களுக்கும் 20°C ல் (22.4/17.1)×(293/273)=1.4 வளியழுத்தங்களுக் கும் சமமாயிருக்கிறது. இதுவே சீனியின் சவ்வூட்டமுத்த மாகும். வழிச் சவ்வின் உதவியுடன் செய்யப்படும் சோதனை யின் போது இச்சவ்வூட்டமுத்தம் 14 மீ உயரம் உள்ள தண் ணீர் ஸ்தம்பத்தைச் சரியீடு செய்ய முடியும்.

விரும்பத்தகாதவற்றை வாசகர்களின் நினைவுக்குக் கொண்டு வருவது நல்லதல்ல என்பதைத் தெரிந்திருந்தா லுங்கூடச் சில உப்புக்களின் கரைசல்கள் கொண்டிருக்கும் இழக்கும் (laxative) தன்மை, சவ்வூட்டமுத்தத்துடன் எவ் வாறு சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது என்பதைப் பற்றி நாம் இங்கு ஆராய்வோம். சில கரைசல்களுக்குக் குடலின் சுவர்கள் வழிச் சவ்வாகச் செயல்படுகின்றன. உப்பு குடல் சுவர்க ளின் வழியே ஊடுருவிச் செல்ல முடியவில்லையானால் (இதுவே உண்மையான க்ளாபர்ஸ் உப்பு எனப்படுகிறது) குடலில் சவ்வூட்டமுத்தம் தோன்றுகிறது; இது உயிரியிலி ருந்து திசுக்களின் வழியாகத் தண்ணீரை உறிஞ்சி, குடலி னுள் செலுத்துகிறது.

உப்பு மிகுதியாயிருக்கும் தண்ணீர் ஒருவருடைய தாகத் தைத் தணிக்க இயலவில்லையே! ஏன்? சவ்வூட்டமுத்தமே இதற்குக் காரணமாயிருப்பதாகத் தெரியவருகிறது. உயிரித் திசுக்களில் செயல்படும் அழுத்தத்தைவிட அதிகமான சவ் வூட்டமுத்தத்தைக் கொண்ட மூத்திரத்தைச் சிறு நீரகங் கள் பிரித்தெடுக்க முடியாது. இதன் விளைவாக, உப்பு மிகுதி யான கடல் நீரைப் பெற்றுள்ள உயிரி, இதைத் திசுவின் திரவங்களுக்குக் கொடுக்க முடியாமலிருப்பது ஒரு புறமி ருக்கையில், இதற்கு மாறாக, இது திசுக்களிலிருந்து எடுக் கப்பட்ட தண்ணீரையும் மூத்திரத்தோடு சேர்த்து அகற் றுகிறது.

பதினான்கு

உராய்வு

உராய்வு விசைகள்

உராய்வைப் பற்றி நாம் ஏற்கனவே பலமுறை குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். உண்மையிலேயே இயக்கத்தைப் பற்றிக் கூறும் பொழுது, உராய்வைப் பற்றிக் குறிப்பிடாமல் நாம் எவ்வாறு சமாளிக்க முடிந்தது. நம்மைச் சுற்றி அமைந்திருக்கும் பொருட்களின் எல்லா இயக்கங்களும் உராய்வுடன் சேர்ந்தே நடைபெறுகின்றன. கார் ஓட்டுநர், அதன் எஞ்சினை நிறுத்திவிட்டால், கார் ஓய்வுநிலைக்கு வருகிறது; பல அலைவுகளுக்குப் பின்னர் ஊசலி ஓய்வுநிலைக்கு வருகிறது; சூரிய காந்திப் பூவின் எண்ணெயைக் கொண்டிருக்கும் சாடியினுள் எறியப்பட்ட உலோகப் பந்து மெதுவாக அமிழ்கிறது. பரப்பின் மீது இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருட்களை ஓய்வுநிலைக்குக் கொண்டு வருவது எது? எண்ணெயில் பந்து மெதுவாக அமிழ்வதற்கான காரணம் என்ன? இதர பொருட்களின் பரப்புகளின் மீது நடைபெறும் பரப்புகளின் மீது நடைபெறும் சில பொருட்களின் இயக்கத்தின் போது எழும் உராய்வு விசைகள்தான் இவற்றிற்குக் காரணமாகும் என நாம் பதிலளிக்கிறோம்.

ஆனால் இயக்கத்தின் போது மட்டுமே உராய்வு விசை எழுவதில்லை. அறையில் உள்ள தட்டுமுட்டுப் பொருட்களை நாம் நகர்த்த வேண்டியதிருக்கலாம். கனமான புத்தக

அடுக்குப் பெட்டியை நகர்த்த ஆரம்பிக்கும் பொழுது, எவ்வளவு கடினமாயிருக்கிறது என்பதை நாமறிவோம். நம் முயற்சியைத் தடை செய்யும் விசை, நிலையியல் (static உராய்வு என அழைக்கப்படுகிறது.

பொருள்கள் வழுக்கிச் செல்லும் பொழுதும் உருண்டு செல்லும் பொழுதுங்கூட உராய்வு விசைகள் தோன்றுகின்றன. இவையிரண்டும் சிறிது வித்தியாசமான இயற்பியல் இயற்பாடுகளாகும். ஆகவே இவற்றை நாம் நழுவு (sliding) உராய்வு, உருள் (rolling) உராய்வு என வேறுபடுத்திக் கூறுகிறோம். உருள் உராய்வு நழுவு உராய்வைவிடப் பத்து மடங்குகளில் சிறியதாயிருக்கிறது.

சில சூழ்நிலைகளில் வழுக்குதலும் மிக எளிதாகவே நடைபெறுகிறது. சிறு பனிச்சறுக்குக்கலம் பனியில் எளிதாக வழுக்கிச் செல்கிறது. பனிக்கட்டியின் மீது பனிச்சறுக்குப் புதைமிதி இதைவிட எளிதாக வழுக்கிச் செல்கிறது.

ஆனால் உராய்வு விசைகள் எவற்றையெல்லாம் சார்ந்திருக்கின்றன?

திடப்பொருட்களுக்கிடையே தோன்றும் உராய்வு விசை இயக்க வேகத்தைச் சிறிதளவே சார்திருக்கிறது, ஆனால் பொருளின் எடைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. பொருளின் எடை இரட்டிக்கப்பட்டால், அதை இயக்கத்தில் ஈடுபடுத்துவதற்கும் இழுத்து வைத்திருப்பதற்கும் இரு மடங்கு அதிகக் கடினமாயிருக்கிறது. நாம் சொல்ல எண்ணியவைகளை மிகச் சரியாக இங்குக் குறிப்பிடவில்லை. பொருளின் எடையைக் காட்டிலும் பொருளைப் பரப்புடன் அழுத்திக் கொண்டிருக்கும் விசையே இங்கு அதிக முக்கியம் வாய்ந்ததாகும். பொருள் இலேசானதாக இருந்தாலும் கையினால் நாம் அதைக் கடினமாக அழுத்தினால், உராய்வு விசை பாதிக்கப்படுகிறது. பரப்புடன் பொருளை அழுத்திக் கொண்டிருக்கும் விசையை P என நாம் குறித்தால் (பெரும்பாலான உதார

ணங்களில் இதுவே அப்பொருளின் எடையாக அமைகிறது) $F_{உராய்வு}$ என்று குறிக்கப்படும் உராய்வு விசை கீழ்வரும் எளிய சூத்திரத்தின் மூலம் பெறப்படுகிறது:

$$F_{சராசரி} = kP.$$

ஆனால் பரப்புகளின் பண்புகள் எவ்வாறு கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டிருக்கின்றன? ஏனெனில் ஒரே அமைப்புடைய அடிப்பகுதிகளைக் கொண்ட சிறு பனிச்சறுக்குக்கலம், சறுக்கும் அடிப்பகுதியுடன் இரும்பு சேர்த்துக்கட்டப்பட்டிருக்கிறதா இல்லையா என்பதைப் பெறுத்து, வெவ்வேறுவிதமாக வழுக்கிச் செல்கிறது என்பது நாம் நன்கறிந்ததே! இப்பண்புகள் யாவும் k எனக் குறிக்கப்பட்டிருக்கும் விகிதாச்சாரக் காரணியின் மூலம் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது; இது **உராய்வுக் கெழு** (friction coefficient) என அழைக்கப்படுகிறது.

மரத்தின் மீது உலோகத்தின் உராய்வுக் கெழு கிட்டத்தட்ட 0.5 க்குச் சமமாயிருக்கிறது. வழவழப்பான மரமேசையின் மீது உட்கார்ந்திருக்கும் 2 கி.கி.வி எடையைக் கொண்ட உலோகப் பாளத்தை 1 கி.கி.வி அளவுடைய விசையினாலேயே நாம் இயக்கத்தில் ஈடுபடுத்த முடிகிறது. ஆனால் பனிக்கட்டியின் மீது இரும்பின் உராய்வுக் கெழு 0.027 மட்டுமேயாகும். பனிக்கட்டியின் மீது இதே பாளத்தை 54 கி.வி அளவுள்ள விசையினால் மட்டுமே நகர்த்துவது சாத்தியமாகிறது.

முன்னர் அறிமுகப்படுத்திய சூத்திரம் தளத்தின் பரப்பளவைச் சார்ந்திருக்கவில்லை: உராய்வு விசை, பொருட்கள் ஒன்றோடொன்று உராய்ந்து கொள்ளும் தொடு பரப்பின் பரப்பளவைச் சார்ந்ததல்ல. ஒரு கிலோகிராம் எடையைக் கொண்ட விசாலமான இரும்புத் தகடு ஒன்றையும் குறைந்த

பரப்பளவுடைய தாங்குப்பரப்பைக் கொண்டிருக்கும் ஒரு கிலோகிராம் எடைகளையும் இயக்கத்தில் ஈடுபடுத்துவதற்கு அல்லது மாருத வேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கச் செய்வதற்கு ஒரே அளவு விசையே தேவைப்படுகிறது.

நழுவும்போது ஏற்படும் உராய்வு விசைகளைப் பற்றிய, மற்றுமொரு கருத்தைக் குறிப்பிட விரும்புகிருேம். பொருளைத் தொடர்ந்து நகர்ந்து கொண்டிருக்கச் செய்வதைக் காட்டிலும் அதை இயக்கத்தில் ஈடுபடுத்துதல் சிறிது அதிகக் கடினமான செயலாகும்: இயக்கத்தின் முதல் கட்டத்தில் சமாளிக்கப்பட வேண்டிய உராய்வு விசை (நிலையியல் உராய்வு), பிந்திய கட்டங்களில் எழுகின்ற உராய்வு விசைகளைக் காட்டிலும் 20—30% அதிகமாயிருக்கிறது.

சக்கரத்தின் சுழற்சியின் போது எழுகிற உருள் உராய்வு விசையைப் பற்றிய சில கருத்துக்களை நாம் இங்குத் தருகிருேம். நழுவு உராய்வைப்போன்றே சக்கரம் ஒரு தளத்துடன் அதிக விசையுடன் அழுத்தும் பொழுது, உருள் உராய்வு விசை, சக்கரத்தின் ஆரத்துக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கிறது. இது நாம் எளிதில் புரிந்து கொள்ளக்கூடியாதாய் இருக்கிறது: சக்கரம் பெரியதாயிருந்தால், அது உருண்டு செல்லும் தளத்தின் சொர சொரப்புத் தன்மை குறைந்த அளவில்தான் உணரப்படுகிறது.

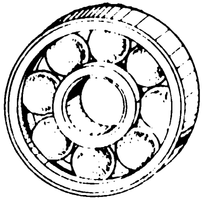
பொருளை உருளச் செய்யும் பொழுதும் வழுக்கிச் செல்லுமாறு செய்யும் பொழுதும் சமாளிக்கப்பட வேண்டிய விசைகளை ஒப்பிடும் பொழுது கிடைக்கப்பெறும் அவற்றிற்கிடையேயான வித்தியாசம் நம் கவனத்தை வெகுவாகக் கவருகிறது. காட்டாக, ஒரு டன் வி எடையைக் கொண்ட இரும்புக் கம்பியைக் கருங்காரைத் தளத்தின் மீது இழுத்துச் செல்வதற்கு 200 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையை உபயோகிக்க வேண்டியதிருக்கிறது. விளையாட்டு வீரரால் மட்டுமே இதைச் செய்ய முடியும். ஆனல் இதே கம்பி ஒரு வண்டி

யின் மேலிருக்கும் பொழுது, சிறுவன் கூட இதை உருட்ட முடியும், இச்செயலுக்கு 10 கி.கி.விக்கு அதிகப்படாத விசையே அவசியமாயிருக்கிறது.

உருள் உராய்வு நழுவு உராய்வை ''வென்றிருக்கிறது'' என்று கூறுவதில் வியப்பு ஏதும் இல்லை. வெகுகாலத்துக்கு முன்னரே மனிதன் சக்கரத்தின் மூலம் நடைபெறும் போக்குவரத்து முறையைப் பின்பற்றியதற்குக் காரணம் இல்லாமல் இல்லை.

அடிப்பாகங்களைச் சக்கரங்களால் மாற்றீடு செய்வதனுல் மட்டும் நழுவு உராய்வை முழுவதுமாக வென்றுவிட முடியாது! ஏனெனில் சக்கரம் அச்சு ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட வேண்டியிருக்கிறது. முதன்முதலில் நோக்கும் பொழுது, தாங்குப்பொறியின் மீது அச்சு செயல்படுத்தும் உராய்வைத் தவிர்ப்பது சாத்தியமானதல்ல எனத் தோன்றலாம். ஆகவே மக்கள் பல நூற்றுண்டுகளாகச் சிந்தனை செய்து, பலவகைப்பட்ட உயவுகளின் மூலம் தாங்கும் பொறிகளில் நழுவு உராய்வைக் குறைப்பதற்கு முயற்சி செய்தனர். உயவுகள் ஆற்றிய பணிகள் அளவில் சிறிதும் குறைந்தவை அல்ல: நழுவு உராய்வு 8 லிருந்து 10 மடங்குகள் வரையிலும் அளவில் குறைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆயினும் இவற்றுள் பெரும்பாலானவற்றில் உயவை உபயோகப்படுத்தினுலுங்கூட உருள் உராய்வு மிக அதிகமாக இருப்பதால் இவற்றில் உயவை உபயோகப்படுத்துவதால் அதிகச் செலவு ஏற்படுகிறது. இதனுல்தான் சென்ற நூற்றுண்டின் இறுதியில் தொழில் நுணுக்கவியலின் வளர்ச்சி பெரிதும் தடைப்பட்டது. இதற்குப் பின்னரே தாங்கும் பொறியில் செயல்படும் நழுவு உராய்வை உருள் உராய்வால் மாற்றியமைக்கும் முக்கியமான கருத்து தோன்றியது. கோளங்களாலான தாங்கும் பொறியினுல் இம்முயற்சி வெற்றியடைந்தது. அச்சுக்கும் இருசு சுழலும் வாய்வரை பள்ளத்துக்கும் (bush) இடையே

அமைந்துள்ள இடைவெளிகளில் சிறு கோளவடிவ குண்டுகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. சக்கரம் சுற்றும் பொழுது, குண்டுகள், இருசு சுழலும் வாய்வரை பள்ளத்தின் மீதும் அச்சு, குண்டுகளின் மீதும் உருளுகின்றன. இவ்வியந்திர நுட்பத்தின் அமைப்பு படம் 109ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இம்முறையில் நழுவு உராய்வு உருள் உராய்விஞல் பதிலீடு செய்யப்பட்டு, இவ்வாறு உராய்வு விசை பத்து மடங்குகளுக்கு மேல் குறைக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 109

நவீன தொழில் நுணுக்கவியலில் கோளங்கள், உருளைகள் ஆகியவற்ருலான தாங்கும் பொறிகள் ஆற்றும் பங்கை மிகப்படக் கூறுவது அரிது. அவை கோளங்கள், உருளை வடிவ உருளிகள், கூம்பு வடிவ உருளிகள் ஆகியவற்ருல் அமைக்கப்பட்டிக்கின்றன. பெரிய இயந்திரங்கள் அல்லது சிறிய இயந்திரங்கள் எதுவாயினும் இத்தகைய தாங்கும் பொறிகளைத் தன்னகத்தே கொண்டிருக்கின்றன ஒரு மில்லிமீட்டர் விட்டமுள்ள கோளங்களாலான தாங்கும் பொறிகள் உபயோகத்திலிருக்கின்றன. பெரிய இயந்திரங்களுக்கான சில தாங்குப் பொறிகள் 1 டன்னுக்கும் அதிகமான எடையைக் கொண்டிருக்கின்றன. தாங்கும் பொறிகளுக்காக மில்லிமீட்டரின் பகுதிகளிருந்து சில சென்டிமீட்டர்கள் வரையிலான மாறுபட்ட விட்டங்களைக் கொண்ட பந்துகள் (சில சரக்குக் கருவூலப் பலகணிகளில் இவற்றை நாம் பார்த்திருக்கக் கூடும்) தயாரிக்கப்படுகின்றன.

திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும் செயல்படும் பிசிற உராய்வு

இதுவரையில் நாம் ''உலர்'' உராய்வைப் பற்றி, அதாவது இரு திடப்பொருள்களின் தொடர்பால் எழுந்த

உராய்வைப் பற்றிப் பேசிக் கொண்டிருந்தோம். ஆனால் மிதக்கும் பொருட்களும் பறக்கும் பொருட்களும் கூட உராய்வு விசைகளின் செயற்பாட்டுக்கு உட்படுத்தப்படுகின்றன. உராய்வின் தோற்றுவாய் மாறியிருக்கிறது, அதாவது உலர் உராய்வுக்குப் பதிலாக ''ஈர'' உராய்வு செயல்படுகிறது.

தண்ணீரில் அல்லது காற்றில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருள் எதிர்நோக்கும் தடை நாம் மேற்கூறிய உலர் உராய்வின் விதிகளிலிருந்தும் முற்றிலும் மாறுபட்ட விதிகளுக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது.

உராய்வைப் பொறுத்தமட்டில் திரவம், வாயு முதலியவற்றின் செயற்பாடுகளுக்கான விதிகளை வேறுபடுத்திக் காட்ட முடியாது. ஆகவே கீழே குறிப்பிடப்படுபவை அனைத்தும் திரவங்களுக்கும் வாயுக்களுக்கும் சமமான அளவில் பொருந்துகின்றன. கீழே வருபனவற்றில், சுருக்கத்தின் காரணமாக, ''திரவம்'' என நாம் குறிப்பிட்டு கூறுபவை அனைத்தும் வாயுக்களுக்கும் சமமான அளவில் பொருந்துவனவே.

நிலையியல் உராய்வு இல்லாதிருத்தலே உலர் உராய்வு, ''ஈர'' உராய்வு ஆகியவற்றுக்கிடையேயான வேறுபாடுகளுள் ஒன்றாகும். தண்ணீர் அல்லது காற்றில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் பொருளை எதேச்சையான ஒரு சிறு விசையால் இயக்கத்தில் ஈடுபடுத்த முடிகிறது எனப் பொதுவாகக் கூறலாம். ஆனால் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருள் எதிர்நோக்கும் உராய்வு விசை, அப்பொருளின் இயக்க வேகம், பொருளின் அமைப்பு, பரிமாணங்கள், திரவத்தின் (வாயு) பண்புகள் முதலியவற்றைச் சார்ந்திருக்கிறது. ''ஈர'' உராய்வை ஒரே விதியால் விவரிக்க இயலாது, ஆனால் இரு வித்தியாசமான விதிகளால் விளக்கிக் கூற முடியும் என்பதைத் திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும் நடைபெறும்

பொருட்களின் இயக்கம் பற்றி நடத்தப்பட்ட ஆராய்ச்சி நிரூபித்திருக்கிறது. இவற்றுள் ஒன்று குறைந்த வேகத்துடன் கூடிய இயக்கங்களுக்கும் மற்றது உயர் வேக இயக்கங்களுக்கும் ஏற்றதாக இருக்கின்றன. ஊடகத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருளைச் சுற்றி அமைந்திருக்கும் அவ்வூடகத்தின் பாய்ச்சல், அப்பொருளின் குறைந்த வேகம் அல்லது உயர் வேகத்தைப் பொறுத்து வேறுபடுகிறது என்பதை இரு விதிகள் வழக்கில் இருப்பதே நமக்கு எடுத்துக் கூறுகிறது.

குறைந்த வேகத்துடன் கூடிய இயக்கங்களின் போது, செயல்படும் தடை விசை, பொருளின் வேகம், நீளப்பரிமாணம் முதலியவற்றுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

$F \propto vL$.

நாம் பரிசீலித்துக் கொண்டிருக்கும் பொருள் என்ன அமைப்புடையது என்பது நமக்குக் கொடுக்கப்படவில்லையெனில் பரிமாணத்தின் நேர்விகிதச்சமத்தை நாம் எவ்வாறு புரிந்து கொள்ளுவது? முற்றிலும் வடிவொத்த இருபொருட்கள் (அதாவது இரு பொருட்களின் ஒத்த பரிமாணங்கள் ஒரே விகிதத்திலிருக்கின்றன) எதிர்நோக்கும் தடை விசைகளின் விகிதம் அப்பொருட்களின் நீளப்பரிமாணங்களின் விகிதமாகவே இருக்கிறது.

தடையின் எண்மதிப்பு திரவத்தின் பண்புகளைப் பெரும் அளவில் சார்ந்திருக்கிறது. ஒரே பொருட்கள் வித்தியாசமான ஊடகங்களில் சர்வசமமான வேகங்களுடன் இயங்கும் பொழுது, எதிர்நோக்கும் உராய்வு விசைகளை ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும் பொழுது, ஊடகம் அதிகத் திண்மையுடையதாக இருந்தால் அல்லது நாம் கூறுவது போல அதிகமான பிசிறத்தன்மையுடையதாக இருந்தால், பொருட்கள் எதிர் நோக்கும் தடை விசையும் அதிகமாயிருக்கிறது என்பதை

நாம் பார்க்கிறோம். ஆகவே நமது பரிசீலனைக்குட்பட்டிருக்கும் உராய்வைப் பிசிற உராய்வு என்று அழைப்பது மிகப் பொருத்தமாகும். காற்று, தண்ணீரைவிட ஏறக்குறைய 60 மடங்குகள் குறைந்த, ஒதுக்கிவிடக்கூடிய, பிசிற உராய்வையே உண்டாக்குகிறது என்பது புரிந்து கொள்ளக் கூடியதே! திரவம், தண்ணீரைப்போன்று மெல்லியதாக இருக்கலாம், அல்லது தேன், புளிப்பாகு ஆகியவை போன்று அதிகப் பிசிறத்தன்மை கொண்டதாகவும் இருக்கலாம்.

திரவத்தில் திடப்பொருட்கள் தாஞகக் கீழ்நோக்கி இறங்கிச் செல்லும் வேகத்திஞலோ அல்லது திறப்பு வழியாக அத்திரவம் வெளியே வடியும் வேகத்திஞலோ அத்திவத்தின் பிசிறத்தன்மையின் அளவை நாம் மதிப்பிட முடிகிறது.

அரை லிட்டர் கன அளவு கொண்ட பெய் குழலிலிருக்கும் தண்ணீர் முழுவதுமாக வடிவதற்குச் சில விஞடிகளே ஆகின்றன. இத்தகைய பெய் குழலிலிருக்கும் அதிகப் பிசிறத்தன்மையுடைய திரவம் பல மணி நேரமாக, ஏன் பல நாட்களாகக் கூடச் சொட்டிக் கொண்டிக்கும். இதைவிட அதிகப் பிசிறத்தன்மை கொண்ட திரவங்களும் இருக்கின்றன. சில எரிமலைகளின் வாயின் உட்புறங்களில் அமைந்திருக்கும் எரிமலைக் குழம்புகளின் திரட்சியில் கோளவடிவத் துண்டுகள் காணப்படுகின்றன என்ற உண்மையைப் புவியமைப்பியல் அறிஞர்கள் நம் கவனத்துக்குக் கொண்டு வந்திருக்கின்றனர். முதலில் நோக்கும் பொழுது, எரிமலைப் பிழம்புகளிலிருந்தும் எரிமலைகளின் வாயில் இப்படிப்பட்ட கோளம் எவ்வாறு அமைந்திருக்க முடியும் என்பதைப் புரிந்து கொள்ள முடியவில்லை. எரிமலைப் பிழம்பை ஒரு திடப்பொருளாகக் கருதிஞல், இதைப் புரிந்து கொள்ள முடியாது. ஆஞல் எரிமலைப் பிழம்பு திரவத்தைப்போல் நடந்து கொண்டால், மற்றத் திரவங்களைப்போலவே இதுவும் எரி

மலையின் வாய்க்கு வந்து விழும். ஆனால் ஒரு வினாடியின் பகுதி நேரத்தில் அன்றி, இருபதாண்டுகளின் காலப்போக்கில் ஒரு துளி மட்டுமே அமைக்கப்படுகிறது. இத்துளி மிகக் கனமானதாக மாறும் பொழுது, அது பிழம்பிலிருந்து விடுபட்டு எரிமலை வாயின் அடிப்பாகத்தை அடைகிறது.

உண்மையான திடப்பொருட்களும் படிக உருவில்லாத திடப்பொருட்களும் (amorphous) படிகங்களைக் காட்டிலும் திரவங்களுடன் அதிக ஒப்புமை கொண்டிருந்தாலும், அவற்றைத் திரவங்களாகக் கருதக் கூடாது என்பது இவ்வுதாரணத்திலிருந்து தெரியவருகிறது. சரியாகக் குறிப்பிட்டால், எரிமலைப் பிழம்பு இத்தகைய படிக உருவற்ற பொருளாகும். இது திடப்பொருள் போன்ற தோற்றமுடையது; ஆனால் உண்மையில் அதிகப் பிசிறத்தன்மை கொண்ட திரவமேயாகும்.

முத்திரை மெழுகு ஒரு திடப்பொருளா? இதைப் பற்றி நாம் என்ன கருத்துக் கொண்டிருக்கிறோம். இரு தக்கைகளை எடுத்து, அவற்றை இரு கிண்ணங்களின் அடிப்பாகத்தில் வைக்கவும். இவற்றுள் ஒன்றில் ஏதாவதொரு உருகிய உப்பையும் (உதாரணமாக மிக எளிதில் கிடைக்கும் வெடியுப்பு) மற்றொன்றில் உருகிய முத்திரை மெழுகையும் ஊற்றவும். இரு திரவங்களுமே உறைந்து தக்கைகளை உள்ளிட்டு மூடிவிடுகின்றன. இக்கிண்ணங்களை அடுக்குப் பலகையில் தனியே விட்டு வைத்துப் பின்னர் நீண்ட காலமாக அவைகளைப் பற்றி மறந்துவிடவும். சில மாதங்களுக்குப் பின்னர் இவற்றை எடுத்துப் பார்க்கும் பொழுது, முத்திரை மெழுகுக்கும் உப்புக்கும் இடையேயான வேறுபாட்டைக் காண முடிகிறது. உப்பில் மூழ்கியிருந்த தக்கை முன்னர் போலவே கிண்ணத்தின் அடியில் ஓய்வுநிலையிலிருக்கும். ஆனால் முத்திரை மெழுகில் மூழ்கியிருந்த தக்கையோ அதன் மேற்பகுதியிலிருக்கிறது. இது எவ்வாறு நடைபெற்றது என்ற

வியப்பு நமக்கு எழலாம். தண்ணீரில் அமிழ்த்தப்பட்ட தக்கை அதன் மேற்பரப்பிற்கு வருவது போலவே இங்கும் தக்கை மேற்பரப்புக்கு வந்திருக்கிறது என்று எளிதாகக் கூறலாம். ஆனால் இவை நடைபெறுவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரங்கள் மட்டுமே மிகவும் வேறுபட்டிருக்கின்றன. பிசிற உராய்வு விசை சிறியதாயிருந்தால், தக்கை உடனேயே மேற்பரப்புக்கு வந்துவிடுகிறது. ஆனால் அதிகப் பிசிறத்தன்மை கொண்ட திரவங்களில் தக்கை மேற்பரப்புக்கு வருவதற்குப் பல மாதங்கள் ஆகின்றன.

உயர் வேகங்களின் போது செயல்படும் தடை விசைகள்

இங்கு ''ஈர'' உராய்வின் விதிகளை நோக்கி நம் கவனத்தைத் திருப்புவோம். நாம் விவரித்தது போன்றே குறைவான வேகங்களில் தடையானது திரவத்தின் பிசிறம், இயக்க வேகம், பொருளின் நீளப்பரிமாணம் ஆகியவற்றைச் சார்ந்திருக்கிறது. உயர் வேகங்களின் போது செயல்படும் உராய்வு விதிகளைப் பற்றி இப்பொழுது நாம் பரிசீலிப் போம். ஆனால் இதற்கு முன்னதாக எந்தெந்த வேகங்கள் குறைந்த வேகங்கள் எனவும் என்னென்ன வேகங்கள் உயர் வேகங்கள் எனவும் வரையறுக்கப்பட வேண்டும் என்பதை நாம் குறிப்பிட வேண்டியது அவசியமாகிறது. நாம் வேகத்தின் எண்மதிப்பில் நம் கவனத்தைச் செலுத்தவில்லை. மேலே பரிசீலிக்கப்பட்ட பிசிற உராய்வு விதி செல்லுபடியாகும் அளவுக்கு வேகம் குறைவாயிருக்கிறதா என்பதில் நாம் அக்கறை கொண்டிருக்கிறோம்.

ஒரு குறிப்பிட்ட மீட்டர்கள்/வினாடி என்பதைக் குறித்து அதற்குக் குறைவான வேகங்களுக்கெல்லாம், பிசிற உராய்வின் விதிகள் பொருந்துகின்றனவாய் இருக்குமாறு செய்வது சாத்தியமானதன்று நம் பரிசீலனையின் கீழ் இருக்கும்

விதி பயன்படக்கூடிய எல்லைவரம்பு, பொருளின் பரிமாணங்கள், திரவத்தின் பிசிறத்தன்மையின் அளவு, அதன் அடர்த்தி முதலியவற்றைச் சார்ந்திருக்கிறது.

காற்றைப் பொறுத்தமட்டில்

$\frac{0.75}{L\,(செ.மீ)}\ \frac{செ.மீ}{விநாடி}$க்குக் குறைவானதொரு வேகமே ''குறைந்த வேகம்'' ஆகும்.

தண்ணீரைப் பொறுத்தமட்டில்

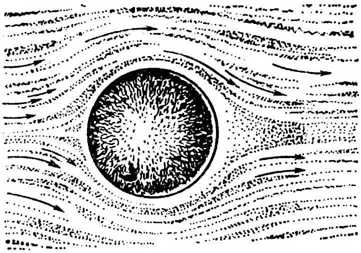
$\frac{0.05}{L\,(செ.மீ)}\ \frac{செ.\ மீ}{விநாடி}$க்குக் குறைவான வேகமே ''குறைந்த வேகம்'' எனக் கருதப்படுகிறது.

கெட்டியான தேனைப்போன்ற பிசிறத் திரவங்களைப் பொறுத்தமட்டில்

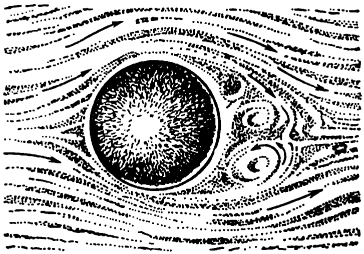
$\frac{100}{L\,(செ.மீ)}\ \frac{செ.\ மீ}{விநாடி}$க்குக் குறைவான வேகமே ''குறைந்த வேகம்'' எனப்படுகிறது.

இதனால் பிசிற உராய்வின் விதிகள், காற்றுக்கும் அதைவிடக் குறிப்பாகத் தண்ணீருக்கும் மிக அரிதாகவே பயன்படக்கூடியனவாய் இருக்கின்றன: 1 செ.மீ/விநாடி அளவுடைய மிகக் குறைந்த வேகமாயிருப்பினும் கூட மில்லிமீட்டர் அளவுள்ள பரிமாணங்களைக் கொண்ட நுண்ணிய பொருட்களுக்கே இவ்விதிகள் பொருந்துகின்றன. தண்ணீரினுள் தலை குப்புறப் பாய்ந்து செல்லும் மனிதனால் உணரப்படும் தடை எவ்வகையிலேனும் பிசிற உராய்வின் விதிகளுக்குட்பட்டதல்ல.

ஆனால் ஊடகத்தின் தடையைத் தீர்மானிக்கும் விதி, வேகமாறுதலைப் பொறுத்து மாறுதலடைகிறது என்ற உண்மையை நாம் எவ்வாறு விளக்கிக் கூற முடிகிறது. திரவத்தினுள் பொருள் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, அப்



அ



ஆ

படம் 110

பொருளேச் சூழ்ந்திருக்கும் திரவத்தின் பாய்ச்சலின் தன்மையில் ஏற்படும் மாறுதலேயே இதன் விளேமுதலாகக் கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது. இரண்டு வட்ட உருளேகள் (இவற்றின் அச்சுகள் படத்துக்குச், செங்குத்தாக அமைந்திருக்கின்றன) திரவத்தினுள் இயங்கிக் கொண்டிருப்பது படம்110ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. குறைந்த வேகத்துடன் இயக்கம் செயல்படும் பொழுது, இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருளேச் சுற்றித் திரவம் தடங்கலின்றிப் பாய்கிறது. இது சமாளிக்க வேண்டிய தடை விசை, பிசிற உராய்வின் விசையாகும் (படம் 110அ). உயர் வேகத்தின் போது, இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருளுக்குப் பின்னல் திரவத்தின் ஒழுங்கற்ற, சிக்கல் அதிகமான இயக்கம் தோன்றுகிறது (படம் 110ஆ). நீர்ச்சுழிகள், நீர் வளேயங்கள் போன்ற விசித்திர வடிவங்களேத் தோற்றுவித்து, பலவகைப்பட்ட திரவ ஓட்டங்கள் தோன்றுவதும் மறைவதுமாய் இருக்கின்றன. நீரோட்டங்கள் ஏற்படுத்தும் காட்சி எப்பொழுதும் மாறிக் கொண்டேயிருக்கிறது. சுழிப் பாய்ச்சல் (turbulent) என்று அழைக்கப்படும் இவ்வியக்கத்தின்

தோற்றம் தடையின் விதியை அடிப்படையிலேயே மாற்றி விடுகிறது.

சுழிப்புத் தடையானது பிசிறத் தடையிலிருந்தும் முற்றி லும் மாறுபட்ட விதத்தில் பொருளின் வேகத்தையும் பரிமா ணங்களையும் சார்ந்திருக்கிறது. இது வேகத்தின் இருமடிக் கும் நீளப்பரிமாணங்களின் இருமடிக்கும் நேர்விகிதத்திலி ருக்கிறது. இவ்வியக்கத்தின் போது திரவத்தின் பிசிறம் எவ்வித முக்கிய பங்கும் எடுத்துக் கொள்வதில்லை. திரவத் தின் அடர்த்தியே இவ்வியக்கத்தைத் தீர்மானிக்கும் பண்பா கும். தடை செய்யும் விசை, திரவத்தின் (வாயு) அடர்த்தி யின் முதல் மடிக்கு நேர்விகிதத்தில் அமைந்திருக்கிறது. ஆகவே சுழிப்புத் தடையின் விசையாகிய Fக்குக் கீழ்வ ரும் சூத்திரம் பொருந்துகிறது:

$$F \propto \rho v^2 L^2,$$

இங்கு v என்பது இயக்க வேகமாகவும் L பொருளின் நீளப் பரிமாணமாகவும் ρ ஊடகத்தின் அடர்த்தியாகவும் இருக் கின்றன. நாம் குறிப்பிடாமல் விட்டிருக்கும் எண்மதிப்பு டைய விகிதாச்சார காரணி, பொருளின் அமைப்பைப் பொறுத்து பல்வேறு மதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கலாம்.

இழைவரி (streamline)

மேலே குறிப்பிடிருப்பது போன்றே காற்றில் ஏற்படும் இயக்கம் பெரும்பாலும் எப்பொழுதும் அதிக வேகமுடைய தாயிருக்கிறது, அதாவது பிசிறத் தடையின்றி, சுழிப்புத் தடையே முக்கிய பங்கு ஆற்றுகிறது. ஆகாய விமானங் கள், பறவைகள், பாராசூட்டுகள் முதலானவை சுழிப்புத் தடையையே எதிர்நோக்குகின்றன. ஒருவன் பாராசூட்டின் றிக் காற்றின் வழியே பூமியை நோக்கி விழுவானேயானல்,

சிறிது நேரத்துக்குப் பின்னர் அவன் ஒரே சீராக (தடை செய்யும் விசை எடையைச் சரிக்கட்டுகிறது), ஆனால் 50 மைல்/வினாடி அளவிலான அதிக வேகத்துடன் விழ ஆரம்பிக்கிறான். பாராசூட்டு திறந்து கொள்வதால் வீழ்ச்சியில் திடீரென எதிர் முடுக்கம் தோன்றுகிறது. அதே எடை இப்பொழுது மேற்குவிசையின் தடையினால் சரிக்கட்டப்படுகிறது. தடை செய்யும் விசை, இயக்க வேகம், வீழ்ச்சியுறும் பொருளின் நீளப்பரிமாணம் முதலியவற்றுக்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால், வீழ்ச்சியுறும் பொருளின் நீளப்பரிமாணங்கள் அதிகரிக்கும். அதே வீதத்தில், வீழ்ச்சியின் வேகம் குறைகிறது. பாராசூட்டின் விட்டம் ஏறக்குறைய 7 மீட்டராகும்; ஆனால் மனிதனின் விட்டம் கிட்டத்தட்ட ஒரு மீட்டரேயாகும். வீழ்ச்சியின் வேகம் 7 மீ/வினாடிக்குக் குறைகப்படுகிறது. இத்தகைய வேகத்துடன் ஒருவர் பாதுகாப்பாகத் தரையில் இறங்க முடிகிறது.

தடையை அதிகரிக்கும் பிணக்குக்கு இதன் எதிர்ப் பிணக்கைவிட மிக எளிதாகத் தீர்வு காண முடிகிறது என்பதை நாம் குறிப்பிட வேண்டியது அவசியமாகும். கார் அல்லது ஆகாய விமானத்தின் மீது செயல்படும் காற்றுத் தடையையும் நீர் மூழ்கிக் கப்பலின் மீது செயல்படும் நீர்த் தடையையும் குறைப்பது மிக முக்கியமானதும் கடினமானதும் ஆன தொழில் நுட்பவியல் பிணக்காகும்.

பொருளின் அமைப்பை மாற்றுவதன் மூலமாகச் சுழிப்புத் தடையை அதிக அளவு குறைப்பது சாத்தியமாகிறது என்பது தெரியவருகிறது. இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானால் தடைக்குத் தோற்றுவாயாக அமைந்திருக்கும் சுழிப் பாய்ச்சலைச் சிறுமமாக நாம் குறைக்க வேண்டும். பொருளை இழைவரி செய்வதனால் இது சாதிக்கப்படுகிறது.

இக்கருத்திற்கேற்ற மிகச்சிறந்த அமைப்பு எது? முதல் தோற்றத்தில் முன்பக்கம் ஒரு புள்ளியில் முடிவடையும்படி

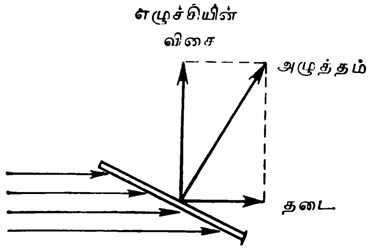
பொருளின் வடிவத்தை அமைக்க வேண்டும் எனத் தோன்றலாம். இத்தகையதொரு புள்ளி, காற்றை மிக நன்றாகக் ''கிழித்துச்'' செல்லும் எனத் தோன்றுகிறது. ஆனால் காற்றைக் கிழித்துச் செல்லாமல் பொருளைச் சுற்றிக் காற்று அமைதியாகப் பாயும்படியாக, கூடிய மட்டும் மிகக் குறைந்த அளவு இடையீடே காற்றுக்குக் கொடுத்தல் முக்கியமானது எனத் தெரியவருகிறது. முன்பகுதி விரிந்து, பின் பகுதி கூரிய முனையில் முடிவடைந்திருக்கும் அமைப்பே வாயு அல்லது திரவத்தினுள் இயங்கும் பொருளுக்கான மிகச் சிறந்த வடிவமாகும்.* பொருள் இத்தகைய அமைப்பைக் கொண்டிருந்தால் கூர்மையான பகுதியைச் சுற்றித் திரவம் அமைதியாகப் பாய்ந்து சுழிவு சிறுமமாக்கப்படுகிறது. எக் காரணத்தைக் கொண்டும் கூரிய விளிம்புகளை முன்பகுதி யில் அமைக்கக் கூடாது. ஏனெனில் அவை சுழிவை ஏற் படுத்தும்.

வானூர்திக்குரிய மேற்பரப்பின் மழமழப்பான நேரொழுங்கமைதி இயக்க திசையிலிருந்து மேல்நோக்கிச் சாய்ந்திருக்கும் பொழுது, ஆகாய விமானத்தின் இறக்கையின் இழைவரி மிகக் குறைந்த தடையை எதிர்நோக்குவதோடு மட்டுமின்றி ஆகாய விமானத்தை அதிக உயரத்துக்குத் தூக்கவும் செய்கிறது. காற்று, இறக்கையைச் சுற்றிப் பாய்ந்து பெரும்பாலும் அதன் தளத்துக்குச் செங்குத்தான திசையில் தள்ளுகிறது (படம் 111). இறக்கை சாய்ந்திருக் கும் பொழுது, இவ்விசை மேல்நோக்கிச் செயல்படுகிறது என்பது தெரியவருகிறது.

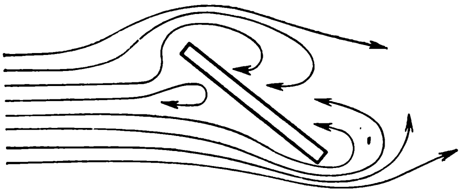
தாக்குதலின் கோணம் அதிகமாகும் பொழுது, எழுச்சி

---

* படகு, கடல் கலங்கள் முதலானவற்றின் கூர்மையான முன்பகுதிகள் அலைகளைத் தகர்ப்பதற்குத் தேவைப்படுகின் றன, அதாவது திரவத்தின் மேற்பரப்பின் மீது இயக்கம் நடைபெறும் பொழுது மட்டுமே இது தேவைப்படுகிறது.



படம் 111



படம் 112

விசை (lift) அதிகமாகிறது. ஆனால் வடிவில் சார்ந்த காரணங்களை மட்டுமே அடிப்படையாகக் கொண்ட யூகம், தாக்குதலின் கோணத்தை அதிகரிப்பது நல்லது என்ற தவறான முடிவுக்கு நம்மைக் கொண்டு செல்கிறது. ஆனால் உண்மையில், தாக்குதலின் கோணம் அதிகரிக்கும் பொழுது, இறக்கைகளைச் சுற்றிக் காற்று அமைதியாகப் பாய்வது அதிகக் கடினமாகிறது; இக்கோணம் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, படம் 112ல் விவரிக்கப் பட்டிருப்பது போன்று கடுமையான சுழிவு தோன்றுகிறது. உடனேயே தடை அதிகரித்து, விமானத்தின் எழுச்சி விசை குறைகிறது.

பிசிறத்தின் மறைவு

பெரும்பாலும் சில இயற்பாடுகளை விளக்கிக் கூறும் பொழுது, அல்லது ஏதாவது ஒரு பொருள் அல்லது பொருட்

களின் தொகுதியின் நடைமுறைகளை விவரித்துக் கூறும் பொழுது, நன்கு அறிந்த உதாரணங்களை நாம் குறிப்பிடுகிறோம். ஏனைய பொருட்களும் அதே விதிகளுக்கேற்ப இயங்கும்படி இப்பொருளும் இயங்கிக் கொண்டிருக்க வேண்டும் என்பது தெரியவருகிறது. நம் வாழ்க்கையில் நாம் ஏற்கனவே கண்டுணர்ந்தவற்றின் வரிசையில் புதியனவற்றை வகைப்படுத்தும் விளக்கம் பெரும்பாலானவற்றுக்கு ஏற்றதாக இருக்கிறது. ஆகவே திரவங்களின் இயக்கத்தை விவரிக்கும் விதிகளை வாசகர்களுக்கு விளக்கிக் கூறுவதில் நமக்குக் குறிப்பாக எவ்விதக் கடினமும் இல்லை. ஏனெனில் நாம் ஒவ்வொருவரும் தண்ணீர் எவ்வாறு பாய்கிறது என்பதைப் பார்த்திருக்கிறோம்; இவ்வியக்கத்தை நிர்ணயிக்கும் விதிகளும் மிகவும் இயல்பானதாகவே தோன்றுகிறது.

ஆயினும், ஏனைய திரவங்கள் எதையும் ஒத்திராத நம்மை முழுவதுமாகத் திகைப்புள்ளாக்கும் திரவம் இருக்கிறது. இதற்கு மட்டுமே உரிய தனி அம்சமாகிய, பிரத்யேக விதிகளின்படியே இத்திரவம் இயங்குகிறது. இதுவே திரவ ஹீலியமாகும்.

மெய்ச்சுழியின் வெப்பநிலைவரையிலும் திரவ ஹீலியம், திரவக் கட்டத்திலேயே இருக்கிறது என நாம் ஏற்கனவே கூறியிருக்கிறோம். ஆயினும் 2°K (மிகத்துல்லியமாக 2.19°Kக்கும் மேலே நிலைபெற்றிருக்கும் ஹீலியமும் இவ் வெப்பநிலைக்குக் கீழே நிலைபெற்றிருக்கும் ஹீலியமும் முற்றிலும் மாறுபட்ட இரு திரவங்களாகும். இரண்டு டிகிரிகளுக்கு மேலே நிலைபெற்றிருக்கும் ஹீலியத்தின் பண்புகள் ஏனைய திரவங்களின் பண்புகளிலிருந்தும் எவ்விதத்திலும் வேறுபட்டவையல்ல. இவ்வெப்பநிலைக்குக் கீழே ஹீலியம் வியக்கத்தக்கத் திரவமாக மாறுகிறது. இவ்வியக்கத்தக்க ஹீலியம், ஹீலியம்II என அழைக்கப்படுகிறது.

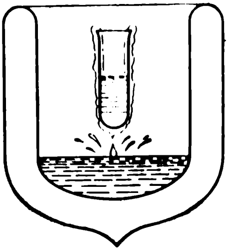
ஹீலியம் IIன் மிகமுக்கியமான பண்பு அதன் மீப்பாயுந்

தன்மையேயாகும். அதாவது முற்றிலும் பிசிறத்தன்மையின்றி இருக்கிறது. இது 1938ம் ஆண்டில் பி. எல். காபிட்சா வால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

மீப்பாய்த்தன்மைக் காட்சிப்பதிவு செய்வதற்காகப் பாதி மைக்ரான் அளவு அகலத்தைக் கொண்ட மிக நுண்ணிய பிளவை அடிப்பாகத்தில் கொண்டிருக்குமாறு பாத்திரம் செய்யப்பட்டிருக்கிறது. சாதாரண திரவம் இத்தகைய பிளவின் வழியே மிக அரிதாகவே கசிந்து ஒழுகுகிறது. 2.19°K ஐவிட உயர்ந்த வெப்பநிலைகளில் ஹீலியமும் இவ்வாறுதான் நடந்து கொள்கிறது ஆனுல் வெப்பநிலை 2.19°K ஐவிடச் சற்று குறைவடைந்த உடனேயே, இத்தகைய பாத்திரம் ஒன்றிலிருந்து ஹீலியம் வெளிநோக்கிப் பாயும் வேகம் எல்லையின்றி, அதாவது குறைந்த பட்சம் ஆயிரம் மடங்குகள் அதிகரிக்கிறது. மிகவும் ஒடுங்கிய பாதையின் வழியே ஹீலியம் II பெருபாலும் கண நேரத்தில் பாய்ந்து செல்கிறது, அதாவது ஹீலியம் II முழுவதுமாகப் பிசிறத் தன்மையை இழக்கிறது. ஹீலியத்தின் மீப்பாயுந்தன்மை இன்னும் அதிக விநோதமான இயற்பாட்டுக்குக் காரணமாயிருக்கிறது. ஹீலியம் II அது ஊற்றப்பட்டிருக்கும் சோதனைக் குழாய் அல்லது குவளையிலிருந்து தானுகவே ''ஏறி வெளிச்செல்லும்'' ஆற்றல் உடையதாகும்.

இச்சோதனையைச் செய்து பார்ப்பதற்கு உதவும் விளக்கப்படம், படம் 113ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஹீலியம் IIஐக் கொண்ட சோதனைக் குழாய், ஹீலியம் தொட்டியின் பாத்திரத்தின் (Dewar vessel) உள்ளே வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ''காரணம் ஏதுமின்றி'' முற்றிலும் நம் கவனத்திற்கு உட்படாத மிக நுண்ணிய படலத்தின் வடிவில் ஹீலியம், சோதனைக் குழாயின் சுவர்களின் வழியே மேலெழுந்து வெளியே வழிகிறது. சோதனைக் குழாயின் அடியிலிருந்து ஹீலியம் துளிகள் விழுகின்றன.

நாம் மேலே விவாதித்த நுண்புழை விசைகளுக்கு நாம் நன்றி சொல்ல வேண்டும். இதன்படி, பாத்திரத்தின் சுவரை நனைக்கும் ஒவ்வொரு திரவத்தின் மூலக்கூறுகளும் இச்சுவரின் வழியே மேலேறி ஒரு சென்டிமீட்டரில் ஒரு மில்லியனில் ஒரு பகுதி அளவிலான தடிப்புடைய மிக நுண்ணிய படலத்தை அமைக்கின்றன என்பதை நினைவில் கொண்டுவரவும். இப்படலத்தைக் கண்ணால் பார்க்க முடியாது. அத்துடன், திரவம் இயல்பான பிசிறத்தன்மையைக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, இப்படலம் எவ்விதத்திலும் தன்னுடைய தோற்றத்தைக் காட்டுவதில்லை.



படம் 113

பிசிறத்தன்மையற்ற ஹீலியத்தைப் பற்றிப் பரிசீலிக்கும் பொழுது, காட்சி முற்றிலும் மாறுதலடைகிறது! உண்மையில் ஒடுக்கமான பிளவு, மீப்பாயுந்தன்மை கொண்ட ஹீலியத்தின் இயக்கத்துக்கு இடையூருக அமைவதில்லை. மேற்பரப்பின் மீது அமைந்திருக்கும் மெல்லியபடலம் ஒடுக்கமான பிளவு போன்றதேயாகும். பிசிறத்தன்மையற்ற திரவம் ஒரு நுண்ணிய படுகையை அமைக்கிறது. மேற்பரப்பை மூடியிருக்கும் படலம், குவளை அல்லது சோதனைக் குழாயின் விளிம்புக்கு மேலே வடிகுழாயை அமைக்கிறது; இதன் வழியே ஹீலியம் பாத்திரத்திலிருந்து ஏறி வெளியே வடிகிறது.

சாதாரண திரவத்தின் நடைமுறைகளில் இப்படிப்பட்ட தன்மை எதையும் நாம் பார்ப்பதில்லை என்பது வெளிப்படையான உண்மையாகும். இயல்பான பிசிறத்தன்மையைக் கொண்ட திரவம், நடைமுறையில் ஒதுக்கிவிடக்கூடிய அளவுக்கு மிகக் குறைவான தடிப்புடைய வடிகுழாயின் வழியே வெளியில் வரும் முயற்சியில் வெற்றியடைவதில்லை. வெளிப்

பாய்ச்சலுக்குப் பல மில்லியன் ஆண்டுகள் எடுக்கும் அள வுக்கு இவ்வியக்கம் மிக மெதுவாகவே நடைபெறுகிறது.

இவ்வாறு, ஹீலியம் II பிசிறத்தன்மையற்றதாக இருக் கிறது. இதிலிருந்து இப்படிப்பட்ட திரவத்தில் திடப்பொ ருள் உராய்வின்றி இயங்க வேண்டும் என்ற முடிவு இரும்பு போன்ற உறுதி வாய்ந்த தத்துவத்தின் மூலமாகத் தெரிய வருகிறது. கம்பியிலிருந்து தொங்களிடப்பட்டிருக்கும் வட் டத்தகட்டைத் திரவ ஹீலியம்IIனுள் இருக்குமாறு அமைத்து, பின்னர் கம்பியைச் சிறிது முறுக்குவோம். சிக் கல் அதிகமில்லாத இவ்வமைப்பைத் தனியாக விட்டு வைப் பதனுல் ஊசிலி போன்ற அமைப்பை நாம் உண்டாக்குகி ருேம். வட்டத்தகட்டுடன் கூடிய கம்பி அலேவுறுகிறது: முத லில் ஒரு திசையிலும் பின்னர் மற்ருெரு திசையிலுமாகப் பருவ நிகழ்வாக முறுக்கப்படுகிறது. இந்த அமைப்பில் உராய்வு செயல்படாமலிருந்தால் வட்டத்தகடு முடிவின்றி அலேவுற வேண்டும் என நாம் எதிர்பார்க்கிருேம். ஆனுல் இம்மாதிரியாக எதுவும் நிகழ்வதில்லே! சார்பாகக் குறுகிய நேரத்துக்குப் பின்னர், அதாவது சாதாரண இயல்பான ஹீலியம் Iல் (2.19°Kஐவிட உயர்ந்த வெப்பநிலேயில் இருக் கும் ஹீலியம்) நடைபெறுவது போன்று கிட்டத்தட்ட அதே நேரத்தில் வட்டத்தகடு ஓய்வுநிலேக்கு வருகிறது. இது வியக்கத்தக்கச் செயலல்லவா? பிளவின் வழியே பாயும் பொழுது ஹீலியம், பிசிறத்தன்மையற்ற திரவத்தைப்போன்று நடந்து கொள்கிறது; ஆனுல் அதனுள் இயங்கும் பொருட் களேப் பொறுத்தமட்டில் சாதாரண பிசிறத் திரவத்தைப் போன்று நடந்து கொள்கிறது. இதுவே உண்மையில் இயல் பான தன்மையிலிருந்து பிறழ்ந்து நடப்பதாகவும் புரிந்து கொள்ள முடியாததாகவும் இருக்கிறது.

மெய்ச்சுழி வரையிலும் ஹீலியம் உறைவதில்லே என்ற உண்மையைப் பற்றி நாம் என்ன கூறியிருக்கிருேம் என்

பதை நம் நினைவுக்குக் கொண்டு வர வேண்டியது அவசியமாகிறது. ஏனெனில் நாம் அறிந்திருக்கும் இயக்கத்தைப் பற்றிய கருத்துகளின் பொருந்தாத் தன்மைக்கு இச்சூழ்நிலை ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். ''வழக்கத்துக்கு மாருக'' ஹீலியம் திரவ நிலையிலேயே இருந்தால் இத்திரவத்தின் விதிகளுக்குட்படாத நடைமுறைகளைப் பற்றி நாம் வியப்படைய வேண்டியது அவசியம்தானு?

குவாண்டம் எந்திரவியல் (Quantum Mechanics) என்னும் பெயரைக் கொண்டிருக்கும் புதிய இயக்கக் கொள்கைகளின் நோக்கு நிலையிலிருந்து மட்டுமே திரவ ஹீலியத்தின் நடைமுறைகளைப் புரிந்து கொள்வது சாத்தியமாகிறது. திரவ ஹீலியத்தின் நடைமுறைகளைக் குவாண்டம் எந்திரவியல் எவ்வாறு விவரிக்கிறது என்பது பற்றிய, பொதுக் கருத்தை இங்கே விவரிக்க முயற்சிப்போம்.

குவாண்டம் எந்திரவியல் என்பது புரிந்து கொள்வதற்கு மிகக் கடினமாயிருக்கும் அதிகச் சிக்கலான கொள்கையாகும். ஆகவே இயற்பாடுகளைவிட இயற்பாடுகளுக்கான விளக்கவுரைகள் வாசகர்களுக்கு மிகவும் புதியவைகளாகத் தோன்றுவதைக் கண்டு, அவர்கள் வியப்படைய வேண்டாம். திரவ ஹீலியத்தின் ஒவ்வொரு துகளும் உடனிகழ்வாகக் கீழ்வரும் இரண்டு இயக்கங்களிலும் பங்கு கொள்கிறது: ஒரு இயக்கம், பிசிறத்தன்மையுடன் சம்பந்தப்படாத மீப்பாய்மத்தன்மையைச் சார்ந்தது, மற்ருென்று சாதாரண திரவங்களில் நிகழும் இயக்கமாகும்.

''ஒன்றின் வழியே மற்ருென்று'' முழுவதுமாகச் சார்பற்ற முறையில் ஊடுருவிச் செல்லும் இரு திரவங்களாலான கலவையால் அமைக்கப்பட்டிருப்பது போன்றே ஹீலியம் II நடந்து கொள்கிறது. ஒரு திரவம், சாதாரண பிசிறத் தன்மையைப் பெற்று இயல்பாக நடந்து கொள்கிறது, மற்ற கூற்றுப் பகுதி ஒரு மீப்பாய்மமாகும்.

ஹீலியம் பிளவு வழியாகப் பாயும் பொழுதும் அல்லது குவளேயின் மேலேறி வெளியில் வழியும் பொழுதும் நாம் மீப்பாய்மத்தன்மையின் விளைவைக் காண்கிருேம். ஆனல் ஹீலியத்தின் இயல்பான பகுதியில் உராய்வு தவிர்க்க முடியாததாக அமைந்திருப்பதால் ஹீலியத்தினுள் மூழ்கியிருக்கும் வட்டத்தகடு அலேவுறும் பொழுது, தகட்டின் அலேவை நிறுத்தும் உராய்வு உண்டாக்கப்படுகிறது.

மாறுபட்ட இருவகையான இயக்கங்களில் ஈடுபடும் இயல்பு வழக்கத்திலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்டிருக்கும் வெப்பங்கடத்தும் பண்புகளேயும் ஹீலியத்துக்குக் கொடுக்க வல்லதாய் இருக்கிறது. ஏற்கனவே குறிப்பிடப்பட்டது போன்று திரவங்கள் பொதுவாக வெப்பத்தை அரிதில் கடத்துகின்றன. ஹீலியம் Iம் சாதாரண திரவத்தைப்போலவே நடந்து கொள்கிறது. ஆனல் இது ஹீலியம் II ஆக மாற்றம் அடையும் பொழுது, இதன் வெப்பங்கடத்துகை கிட்டத்தட்ட பில்லியன் மடங்குகள் அதிகரிக்கின்றன. ஆகவே தாமிரம், வெள்ளி போன்ற சாதாரணமாக மிகச் சிறந்த வெப்பக் கடத்திகளேவிட ஹீலியம் II வெப்பத்தை நன்ருகக் கடத்துகிறது.

வெப்பம் பரவுதலில் ஹீலியத்தின் மீப்பாய்ம இயக்கம் பங்கு கொள்வதில்லே என்ற உண்மையே இதற்கான காரணமாகும். இதனுல் ஹீலியம் IIல் நிலேபெற்றிருக்கும் வெப்பநிலேகளின் மாறுதல் ஏற்படும் பொழுது, ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த்திசைகளில் செல்லும் இரு திரவ ஓட்டங்கள் எழுகின்றன. இவற்றில் ஒன்று அதனுடன் வெப்பத்தை எடுத்துச் செல்லும் இயல்பான பகுதியாகும். இது எவ்விதத்திலும் சாதாரண வெப்பம் கடத்தும் முறையை ஒத்திருக்கவில்லே. சாதாரண திரவத்தில் மூலக்கூறுகளின் மோதுகைகளின் மூலமாகவே வெப்பம் பரப்பப்படுகிறது. ஹீலியம் IIல் திரவம் பாய்வது போன்று வெப்பம் சாதாரண கூற்றுப் பகுதியுடன்

சேர்ந்து பாய்கிறது. ''வெப்பம் பாய்தல்'' என்னும் தொடர் இச்சூழ்நிலைக்கு முற்றிலும் நியாயமானதாயிருக்கிறது. இப்படிப்பட்ட வெப்பம் பரப்பும் முறையே சரியாகச் கூறினுல் மிக அதிகமான வெப்பக்கடத்துகைக்கு வகை செய்கிறது.

ஹீலியத்தின் வெப்பம் கடத்துகைக்கான இவ்விளக்கம் நாம் நம்பமறுக்கும் அளவுக்கு நமக்கு மிகவும் புதியதாக அமைகிறது. ஆனுல் கொள்கை ரீதியில் எளிமையான கீழ் வரும் சோதனையின் மூலமாக நாம் மேலே குறிப்பிட்டவற்றின் செல்லுபடியாகுந்தன்மையே நேரடியாகவே கண்டறியலாம்.

திரவ ஹீலியத்தைக் கொண்ட தொட்டியில் விளிம்பு வரைக்கும் ஹீலியத்தால் நிரப்பப்பட்டிருக்கும் டீவார் பாத்திரம் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. நுண்புழையின் இணைப்புத் துண்டின் மூலமாகப் பாத்திரம் தொட்டியோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. பாத்திரத்தில் இருக்கும் ஹீலியம் மின்சாரச் சுருள் ஒன்றினுல் சூடேற்றப்படுகிறது. ஆனுல் பாத்திரத்தின் சுவர்கள் வெப்பத்தைப் பரப்பாததால் இவற்றின் வழியே பாத்திரத்தைச் சுற்றியிருக்கும் ஹீலியத்துக்கு வெப்பம் கடந்து செல்வதில்லை.

நுண்புழைக்குழாயின் நுனிக்கருகில் அமைந்திருக்குமாறு கனி உலோகச் சல்லடை ஒன்று மெல்லிய கயிற்றில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. திரவத்தைப்போன்று வெப்பம் பாய்வதாக இருந்தால், இப்பாய்ச்சல் கனி உலோகச் சல்லடையைக் கண்டிப்பாகத் திருப்ப வேண்டும். சரியாக இவ்வாறுதான் நிகழ்கிறது. மேலும் பாத்திரத்தில் இருக்கும் ஹீலியத்தின் அளவும் மாறுவதில்லை. வியக்கத்தக்க இவ்வியற்பாட்டை எவ்வாறு விளக்கிக் கூறுவது? ஆம். கீழ்வரும் ஒரே முறையில்தான் இது சாத்தியமாகிறது: சூடேற்றுதலின் போது, சூடேறிய பகுதியிலிருந்து குளிர்ச்சியான

பகுதியை நோக்கித் திரவத்தின் இயல்பான கூற்றுப்பகுதியின் ஓட்டமும் இதற்கு எதிர்த்திசையில் மீப்பாய்மக் கூற்றுப்பகுதியின் ஓட்டமும் நடைபெறுகின்றன. ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் ஹீலியத்தின் அளவு மாருமலிருக்கிறது. ஆனுல் வெப்பப் பரப்புதலுடன் சேர்ந்து திரவத்தின் இயல்பான சுற்றுப்பகுதி இயங்குவதால், இப்பகுதியின் பிசிற உராய்வின் விளைவாகக் கனி உலோகச் சல்லடை திரும்ப ஆரம்பித்துச் சூடேற்றுதல் நிறுத்தப்படும் வரையிலும் இது விலகி நிற்கிறது.

மீப்பாய்ம இயக்கம் வெப்பத்தைப் பரப்புவதில்லை என்னும் உண்மையிலிருந்து மற்றுமொரு முடிவும் தெரியவருகிறது. ஹீலியம், குவளையின் விளிம்புக்கு ''மேலேறி வெளியே ஊர்ந்து செல்வதைப்'' பற்றி நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கிருேம். ஆனுல் மீப்பாய்மப் பகுதியே குவளையிலிருந்து ''வெளியேறுகிறது''. இயல்பான பகுதி குவளையிலேயே தங்கிவிடுகிறது. ஆனுல் வெப்பம் ஹீலியத்தின் இயல்பான பகுதியுடன் மட்டுமே சம்பந்தப்பட்டிருக்கிகிறதே. தவிர, குவளையிலிருந்து ''வெளியேறிச் செல்லும்'' மீப்பாய்மப் பகுதியுடன் சம்பந்தப்பட்டதல்ல. ஆகவே ஹீலியம், பாத்திரத்திலிருந்து ''வெளியேறிக் கொண்டிருக்கும'' பொழுது, ஒரே அளவு வெப்பம் மென்மேலும் குறைந்த அளவிலான ஹீலியத்தால் பகிர்ந்து கொள்ளப்படுகிறது. பாத்திரத்தில் தங்கியிருக்கும் ஹீலியம் சூடேற வேண்டும். உண்மையில் பரிசோதனைகளின் போது இந்நிகழ்ச்சியே காட்சிப்பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கிறது.

மீப்பாய்ம இயக்கம், இயல்பான இயக்கம் ஆகியவற்றில் பங்கு கொள்ளும் ஹீலியத்தின் பொருண்மைகள் சர்வசமமற்றவை. இவற்றின் விகிதம் வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருக்கிறது. வெப்பநிலை குறைவாயிருந்தால், மீப்பாய்மப் பகுதி அதிக அளவில் இருக்கும். மெய்ச்சுழியில் எல்லா

ஹீலியமும் மீப்பாய்மமாக மாறுகிறது. வெப்பநிலை ஏறும் பொழுது, மென்மேலும் அதிக அளவு ஹீலியம் இயல்பாக நடந்து கொள்ள ஆரம்பித்து, 2.19°K என்ற வெப்பநிலையில் ஹீலியத்தின் முழுப்பகுதியும் இயல்பான திரவத்தின் பண்புகளைப் பெற்று, இயல்பான திரவமாக மாறுகிறது.

ஆனால் இவற்றை வாசித்துக் கொண்டு வரும் பொழுதே, வாசகர்களின் வாயிலிருந்து சில கேள்விகள் வெளிவருவது இயல்பு. மீப்பாய்ம ஹீலியம் என்பது என்ன? திரவத்தின் ஒவ்வொரு துகளும் உடனிகழ்வாக இரு இயக்கங்களில் எவ்வாறு ஈடுபட முடியும்? ஒரே துகளின் இரு இயக்கங்கள் பற்றிய உண்மையை எவ்வாறு விளக்கிக் கூற முடியும்? துரதிர்ஷ்டவசமாக நாம் இக்கேள்விகள் அனைத்தையும் பதிலளிக்காமல் விட்டுவிட வேண்டியிருக்கிறது. ஹீலியம் IIன் கொள்கை மிகவும் சிக்கலானது. இதைப் பற்றிப் புரிந்து கொள்வதற்கு நாம் இன்னும் அதிகமானவற்றைத் தெரிந்திருக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது.

குழைவியல்பு

பொருளின் மீது செயலாற்றக் கொண்டிருந்த விசை, செயல்படுவதை நிறுத்திய உடன் அதன் பழைய நிலைக்குத் திரும்பும். அப்பொருளின் இயல்பே நெகிழ்வு (elasticity) எனப்படுகிறது. 1 மி.மீ² குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவைக் கொண்ட ஒரு மீட்டர் நீளமான இரும்புக் கம்பியிலிருந்து 1 கிலோகிராம் பளுவைத் தொங்கவிட்டால், அக்கம்பி நீட்டப்படுகிறது. நீட்சி, மொத்தத்தில் 0.5 மி.மீ அளவைக் கொண்டு ஒதுக்கிவிக்கூடியதாகவே இருக்கிறது. ஆனால் இதை எளிதில் காட்சிப்பதிவு செய்துவிடலாம். இப்பளுவை அகற்றவிட்டால், அக்கம்பி அதே 0.5 மி.மீ அளவு சுருங்குகிறது. ஆகவே அதன் நீளம் பழைய நிலைக்குத் திரும்பு

கிறது. இத்தகைய வடிவத்திரிபு (deformation) நெகிழ்வு வடிவத்திரிபு என அழைக்கப்படுகிறது.

1 மி. மீ^{2} அளவு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவைக் கொண்ட கம்பி 1 கி.கி.வி அளவுள்ள விசையின் செயற் பாட்டுக்குட்படுத்தப்பட்டிருப்பதும் 1 செ.மீ^{2} அளவு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவைக் கொண்ட கம்பி 100 கி.கி.வி அள வுள்ள விசையின் செயற்பாட்டுக்குட்படுத்தப்பட்டிருப்பதும் நாம் குறிப்பிடுவது போல ஒரே எந்திரவியல் தகைவின் செயற்பாட்டுக்குட்படுத்திருக்கின்றன என்பதை நாம் கூறித் துக் கொள்வோம். ஆகவே பொருள் செயலாற்றும் விதம், விசையாலன்றித் (பொருளின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு தெரியாமலிருக்கும் பொழுது, இது அர்த்தமற்ற ஒன்ரு கும்) தகைவினுலேயே, அதாவது ஒரு அலகு அளவுள்ள பரப்பில் செயல்படும் விசையினுலேயே விவரிக்கப்படுகிறது. உலோகங்கள், கண்ணுடி, கற்கள் போன்ற சாதாரண பொருட்கள் நெகிழ்வுத்தன்மைக்குட்பட்டு அதிகப் பட்சம் சில சதவீதங்கள் மட்டுமே நீட்டப்படுகின்றன. ரப்பர் முதன்மையான நெகிழ்வுப் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது. ரப்பர், நெகிழ்வுத்தன்மைக்குட்பட்டுச் சில நூறு சதவீதங் கள் (அதாவது அது முதலில் இருந்ததைப்போன்று இரண்டு அல்லது மூன்று மடங்குகள் அதிகமாக நீட்டப்படுகிறது) நீட்டப்படுகிறது. இவ்வாறு நீட்டப்பட்ட ரப்பர் பட்டையை அதன் மீது செயல்படும் தகைவின் செயற்பாட்டிலிருந்து விடுவித்தால், அது பழைய நிலைக்குத் திரும்புகிறது.

சிறு விசைகளின் செயற்பாட்டின் கீழ், விதிவிலக்கின்றி, எல்லாப் பொருட்களுமே நெகிழ்வுத்தன்மையுடன் செய லாற்றுகின்றன. இருப்பினும் சில பொருட்களுக்கு நெகிழ்வு வரம்பு, சற்று முன்னதாகவும் இதர பொருட்களுக்குச் சற் றுப் பின்னேயும் அமைந்திருக்கிறது. உதாரணமாக 1 மி.மீ அளவு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவைக் கொண்ட கம்

பியில் 0.2—0.3 கி.கி.வி எடையுள்ள பளுவைத் தொங் கவிடும் பொழுதே, ஈயம் போன்ற மிருதுவான உலோகங் கள் நெகிழ்வு வரம்பை எட்டிவிடுகின்றன. எஃகு போன்ற கடினமான பொருட்களுக்கு இவ்வரம்பு, இதைப் போன்று கிட்டத்தட்ட 100 மடங்குகள் கூடுதலாயிருக்கிறது, அதா வது 25 கி.கி.வி ஆக இருக்கிறது.

நெகிழ்வு வரம்பை மீறிய பெரிய விசைகளைப் பொறுத்து பல்வேறு பொருட்கள், தோராயமாக இரு பிரிவுகளாக வகைப்படுத்தப்படலாம். அவை கண்ணுடி போன்றவை, அதாவது வலுவற்றவை, களிமையப்போன்றவை, அதாவது குழைவியல்புடையவை (plastic) என்பனவாகும்.

களிமண் துண்டை நாம் விரலால் அழுத்தினுல், அவ் விரல் அதன் தோலில் அமைந்திருக்கும் கடுஞ்சிக்கலான சுழிகளுடன் கூடிய அடையாள முத்திரையை அக்களிமண் ணின் மீது விட்டுச் சொல்கிறது. தேனிரும்புத் துண்டு அல் லது ஈயத் துண்டைச் சுத்தியலால் அடித்தால், அதன் மீது தெளிவான அடையாளம் அமைந்திருக்கும். இச்செயலுக் குப் பின்னர் எவ்வித விசையும் செயல்படுவதில்லை. ஆனுலும் வடிவத்திரிபு மட்டும் எஞ்சியிருக்கிறது. இது **குழைவியல் புள்ள** அல்லது **மீந்து** (residudl) **வடிவத்திரிபு** என அழைக் கப்படுகிறது. கண்ணுடியின் மீது இத்தகைய மீந்த அடையா ளங்களை உண்டாக்குவதில் நாம் வெற்றியடைவதில்லை. நாம் வெற்றியடைவதில்லை. நாம் இம்முயற்சியில் முனைந்தால் கண்ணுடி உடைந்துவிடும். சில உலோகங்களும் உலோகக் கலவைகளும் உதாரணமாக வார்ப்பு இரும்பு, கண்ணுடி யைப்போன்றே வலுவற்றனவாயிருக்கின்றன. சுத்தியலால் அடிக்கப்படும் பொழுது, இரும்பு வாளி தட்டையாக்கப்ப டுகிறது. ஆனுல் வார்ப்பு இரும்பில் செய்யப்பட்ட பானை கீறுகிறது.

கீழே தரப்பட்டிருக்கும் எண்களின் உதவியால் வலு

வற்ற பொருட்களின் பலத்தை நாம் மதித்து உணர முடிகிறது. வார்ப்பு இரும்புத் துண்டு ஒன்றைப் பொடியாக்க வேண்டுமானுல், அதன் மேற்பரப்பில் ஒரு சதுர மி.மீ பரப்பின் மீது கிட்டத்தட்ட 50—80 கி.கி.வி அளவுள்ள விசை செயல்படுமாறு நாம் செய்ய வேண்டியிருக்கிறது. செங்கலுக்கு இவ்விசையின் மதிப்பு 1.5—3 கி.கி.வி ஆகக் குறைகிறது.

ஒவ்வொரு வகைப்படுத்துதலேயும் போன்றே வலுவற்றவை, குழைவியல்புடையவை எனப்படும் பொருட்களின் இரு வகைகளும் நமக்குத் தெரிந்த அளவில் சார்பானவையே முதலாவதாக, தாழ் வெப்பநிலேகளில் வலுவற்றதாயிருக்கும் பொருள், உயர் வெப்பநிலேகளில் குழைவியல்புடையவையாய் இருக்கிறது. கண்ணுடி, சில நூறு டிகிரிகள் வெப்பநிலேக்குச் சூடேற்றப்படும் பொழுது, குழைவியல்புப் பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

ஈயம் போன்ற மிருதுவான உலோகங்களேக் குளிர்ந்த வெப்பநிலேகளிலேயே வடிவமாற்றம் செய்ய முடியும். ஆனுல் கடின உலோகங்கள் பழுக்கக்காய்ச்சப்படும் பொழுது மட்டுமே வடிவமாற்றத்துக்கு வளேந்து கொடுக்கிறது. வெப்பநிலே ஏற்றம் பொருளின் குழைவியல்புப் பண்பைத் திடீரென அதிகரிக்கச் செய்கிறது.

அறை வெப்பநிலேயில் கடினத்தன்மையைக் கொண்டிருப்பதுவும் உயர் வெப்பநிலேகளில் குழைவியல்புப் பண்பைக் கொண்டிருப்பதுவுமே உலோகங்கள், பதிலீடு செய்ய முடியாத கட்டிடப் பொருட்களாகப் பயன்படுத்தப்படுத்துவதற்கான முக்கிய காரணமாகும். பழுக்கக்காய்ச்சிய உலோகத்திற்கு நாம் விரும்பும் வடிவத்தைக் கொடுக்கலாம். ஆனுல் அறை வெப்பநிலேயில் இருக்கும் பொழுது, அதிக அளவு அசைகளின் மூலமாக மட்டுமே இவ்வடிவத்தை மாற்றுவது சாத்தியமாகிறது.

பொருளின் உள்ளார்ந்த இயல்பமைப்பு அதன் எந்திரவியல் சார்ந்த பண்புகளை மிக அதிக அளவில் கட்டுப்படுத்துகிறது. பொருளில் வெடிப்புகளும் துவாரங்களும் இருந்தால் அது வலுவிழந்து தோன்றுகிறது.

குழைவியல்பு சார்ந்த வடிவத்திரிபு அடையும் பொருட்களின் வலுவடையும் திறன் குறிப்பிடத்தக்கதாகும். உலோகத்தின் ஒற்றைப் படிகம் உருகிய பொருண்மையிலிருந்து வெளிப்பட்ட உடனே மிகவும் மென்மையாய் இருக்கிறது. உலோகங்கள் பலவற்றின் படிகங்கள், நம் கை விரல்களால் வளைக்கப்படும் அளவுக்கு மென்மையானவையாய் இருக்கின்றன. ஆனால் அவற்றை நேராக நிமிர்த்துவதில் நாம் வெற்றியடைவதில்லை. இப்படிகங்கள் வலுவடைந்து விட்டன. இந்த மாதிரித் துண்டை இப்பொழுது குழைவியல்பு சார்ந்த வடிவத்திரிபு அடையச் செய்வதற்கு அதிகப் பலமான அசைகளைச் செயல்படுத்த வேண்டியிருக்கிறது. குழைவியல்பு என்பது பொருளுக்கு மட்டுமே உரித்தான பண்பல்ல, அப்பொருளின் வேதியல் முறைச் செயற்பாட்டின் பண்பாகவும் அமைகிறது என்பது தெரியவருகிறது.

கருவிகள் அனைத்தும் உலோகங்களை வார்த்து செய்யப்படாமல் அவற்றைக் காய்ச்சி அடிப்பதன் மூலமே செய்யப்படுகின்றனவே. ஏன்? இதற்கான காரணம் நாம் யாவரும் நன்கறிந்த ஒன்றேயாகும். காய்ச்சி அடிக்கப்பட்ட (உருட்டப்பட்ட அல்லது இழுக்கப்பட்ட) உலோகம், வார்க்கப்பட்ட ஒன்றைக் காட்டிலும் அதிக வலுவுடையதாய் இருக்கிறது. உலோகத்தை நாம் எவ்வளவு அதிகமாகக் காய்ச்சி அடித்தாலும் விடுதகவு (yield stress) என்றழைக்கப்படும் குறிப்பிட்ட வரம்புக்கு மேல் அதன் வலுவை அதிகரிக்க முடியாது. எஃகு இரும்பைப் பொறுத்தமட்டில் இதன் மதிப்பு 30—50 கி.கி.வி/மி.மீ^{2}க்கு இடையே அமைந்திருக்கிறது.

இம்மதிப்பு கீழ்வரும் அர்த்தத்தைக் கொண்டிருக்கிறது. 1 மி.மீ குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பைக் கொண்ட கம்பியிலிருந்து 16 கி.கி க்குச் சமமான பூடு எனப்படும் ருசிய எடையைத் தொங்கவிட்டால் (விடுதகவுக்குக் கீழேயிருக்குமாறு) அக்கம்பி உடனிகழ்வாக நீட்சியடையவும் வலுப்பெறவும் தொடங்குகிறது. ஆகவே நீட்சியடைதல் வேகமாக நின்றுவிடுகிறது. பின்னர் எடை கம்பியில் அமைதியாகத் தொங்கிக் கொண்டிருக்கும். ஆனால் மூன்று அல்லது நான்கு பூடுகளுக்குச் சமமான எடை (விடுதகவுக்கு மேலே) இக்கம்பியிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டால், முடிவு வித்தியாசமாயிருக்கிறது. அறுந்துபோகும் வரையிலும் கம்பி நீட்சியடைகிறது. பொருளின் எந்திரவியல் சார்ந்த செயல்முறை விசையினலன்றி, தகவினுல் மட்டுமே தீர்மானிக்கப்படுகிறது என்பதை நாம் திரும்பவும் அழுத்தமாகக் கூறுவோம். 100 சதுர மைக்ரான்கள் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பைக் கொண்ட கம்பி $(30—50)\times 10^{-4}$ கி.கி.வி, அதாவது 3—5 கி.வி அளவுள்ள பளுவின் செயற்பாட்டின் கீழ் விட்டுக் கொடுக்கிறது.

கடினத்தன்மை

வலுவும் கடினத்தன்மையும் ஒன்றையொன்று சார்ந்திருப்பதில்லை. கயிறு, துணித்துணுக்கு, பட்டு நூல் முதலியவை மிக அதிகமான வலுவைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றை அறுப்பதற்கு மிக அதிகமான தகவு தேவைப்படுகிறது. ஆனல் கயிறும் துணியும் கடிமைானப் பொருட்கள் என உண்மையில் யாரும் குறிப்பிட மாட்டார்கள். இதற்கு மாருக, கண்ணுடி அதிக வலுவான பொருளல்ல, ஆனல் கண்ணுடி ஒரு கடினமான பொருளாகும்.

தொழில் நுட்பவியலில் வழக்கிலிருக்கும் கடினத்தன்மையின் இயற்பாடு அன்ருட வாழ்க்கையின் நடைமுறையிலி

ருந்து எடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஊடுருவிச் செல்வதைத் தடுக்கும் இயல்பே **கடினத்தன்மை** எனப்படுகிறது. பொருளின் மீது கீறல் கோடு உண்டாக்குவதும் அடையாள முத்திரையை ஏற்படுத்துவதும் கடினமானதாக இருந்தால், அப்பொருள் கடினமானது எனக் குறிப்பிடுகிறோம். வாசகர்களுக்கு இவ் வரையறுப்புகள் சிறிது தெளிவற்றனவாகத் தோன்றலாம். இயற்பியல் கோட்பாடுகள் எண்களின் வடிவில் அறிவிக்கப் படுவதை நாம் அறிந்திருக்கிறோம். ஆனால் கடினத்தமையை பொறுத்தமட்டில் இது எவ்வாறு செய்யப்படுகிறது.

நடைமுறையில் பயன்படாத, சிறிது பழைய பாணி யைச் சேர்ந்த முறை கனிப்பொருளியல் அறிஞர்களால் நீண்ட காலமாகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வந்தது. குறிப்பிட்ட பத்து கனிப்பொருட்கள் ஒரு தொடர்வகையில் அடுக்கப் பட்டிருந்தன. தொடர்வகையின் முதலில் வைரம் அமைந் திருந்தது. இதை முறையே குருந்தம் (corundum), புட் பராகம், குவார்ட்ஸ், கனிமம் (feldspar), அபாடைட்டு, ப்ளோர்—ஸ்பார் (fluor-spar), கால்சைட்டு, ஜிப்ஸம், காக் காய் பொன் (talc) ஆகியவை வரிசையில் தொடர்கின் றன. கீழ்வரும் முறையில் இத்தொடர்வகை முறைப்படுத் தப்பட்டிருக்கிறது. வைரம் எல்லாக் கனிப்பொருட்களின் மீதும் கீறல் கோடு உண்டாக்குகிறது. ஆனால் இக்கனிப் பொருட்களில் எதுவும் வைரத்தின் மீது கீறல் கோட்டை உண்டாக்குவதில்லை. வைரமே மிகவும் கடினமான பொரு ளாகும் என்பதுதான் இதன் அர்த்தமாகும். வைரத்தின் கடினத்தன்மை 10 என்ற எண்ணால் குறிப்பிடப்படுகிறது. தொடர்வகையில் வைரத்துக்கு அடுத்தாற்போல் அமைந் திருக்கும் குருந்தம் அதற்குக் கீழிருக்கும் எல்லாக் கனிப் பொருட்களையும்விடக் கடினமானதாகும். அதாவது குருந் தம் அவற்றின் மீது கீறல் கோட்டை உண்டாகக் முடி யும். குருந்தத்தின் கடினத்தன்மை 9 என்ற எண்ணால் குறிக்

கப்படுகிறது. இதே அடிப்படையில் 8,7,6 என்ற எண்கள் முறையே புட்பராகம், குவார்ட்ஸ், கனிமம் அகியவற்றின் கடினத்தன்மையைக் குறிக்கின்றன. இவற்றில் ஒவ்வொன் றும் தொடர்வகையில் இதற்குக் கீழே அமைந்திருக்கும் கனிப்பொருட்களைவிடக் கடினமானதாகவும்(கீறல் கோட்டை உண்டாக்க முடியும்). இதைவிட அதிகக்கடின எண்களைக் கொண்ட கனிப்பொருட்களைவிட மென்மையானதாகவும் (இதன் மீது கீறல் கோடு உண்டாக்க முடிகிறது) இருக் கிறது. மிகவும் அதிக மென்மையான பொருளாகிய காக் காய் பொன் 1 என்ற கடின எண்ணைக் கொண்டிருக்கிறது.

இந்த அளவீட்டு முறையின் உதவி கொண்டு, பொரு ளின் கடினத்தன்மையை ''அளவிட'' (இவ்வார்த்தை மேற் கோள் குறிகளுக்கிடையில் அமைந்திருப்பதாக எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்) வேண்டுமானால், தேர்ந்தெடுக்கப்பட் டிருக்கும் 10 திட்டவரைகளைக் (standards) கொண்ட தொடர்வகையில் நாம் கவனம் செலுத்தும் பொருள் எந்த இடத்தைப் பிடித்திருக்கிறது என்பதைக் காண வேண்டும்.

கடினத்தன்மையைக் கணிக்க வேண்டிய கனிப்பொரு ளின் மீது குவார்ட்ஸ் கீறல் கோட்டை உண்டாக்க முடிந்து அதே நேரத்தில் அப்பொருள் ப்ளோர்—ஸ்பாரின் மீது குறிகளை ஏற்படுத்தினால், அதன் கடினத்தன்மை 6.5 க்குச் சமமாகும்.

கடினத்தன்மையைக் கணிப்பதற்கு உலோகவியல் அறி ஞர்கள் இதிலிருந்து வேறுபட்ட முறையை உபயோகிக்கின் றன. 1 செ.மீ விட்டத்தைக் கொண்ட எஃகு இரும்புப் பந் தைத் திட்ட அளவுடைய (சாதாரணமாக 3000 கி.கி.வி) விசையுடன் சோதிக்கப்பட இருக்கும் பொருளுக்கு எதிராக அழுத்தி, அதன் மீது பள்ளம் உண்டாக்கப்படுகிறது. இவ் வாறு உண்டாக்கப்பட்ட சிறு குழியின் ஆரம் கடின எண் ணாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

கீறல் கோடு உண்டாக்குவதன் மூலம் கணிக்கப்பட்ட கடினத்தன்மையும் அழுத்துதலின் மூலம் தீர்மானிக்கப்பட்ட கடினத்தன்மையும் ஒன்றோடொன்று ஒத்திருக்க வேண்டியது அவசியமில்லை. கீறல் கோட்டினால் சோதிக்கப்படும் பொழுது ஒரு பொருள் மற்றதைக் காட்டிலும் கடினமானதாகத் தெரியலாம். ஆனால் அழுத்துதலின் மூலம் சோதிக்கப்படும் பொழுது, அதே பொருள் மற்றதைவிட மென்மையானதாகத் தெரியலாம்.

இதன் விளைவாக அளவிடும் முறையைச் சார்ந்திராத கடினத்தன்மையின் ஒரே உலகப் பொதுவான கோட்பாடு இல்லை. கடினத்தன்மையின் கோட்பாடு தொழில் நுட்பவியலைச் சேர்ந்ததே அன்றி, இயற்பியலைச் சேர்ந்த கோட்பாடு அல்ல.

பதினைந்து

ஒலி

ஒலி அதிர்வுகள்

அலைவுகளைப் பற்றிய பல விவரங்களை ஏற்கனவே நாம் வாசகர்களுக்குத் தந்திருக்கிறோம். ஊசிலியும் வில்லில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் பந்தும் எவ்வாறு அலைவுறுகின்றன என்றும் கயிற்றின் அலைவுகளில் என்னென்ன ஒழுங்கு முறைமைகள் இருக்கின்றன என்றும் கேள்விகளைப் பற்றி இப்புத்தகத்தின் ஐந்தாவது அத்தியாயத்தில் நாம் பார்த்தோம். காற்றில் அல்லது வேறு எந்த ஊடகத்திலும் நிலைபெற்றிருக்கும் பொருள் அலைவுறும் பொழுது, அவ்வூடகத்தினுள்ளே என்ன நிகழ்கிறது என்பதைப் பற்றி நாம் குறிப்பிட்டதில், அலைவுகள் ஊடகத்தில் சில விளைவுகளை ஏற்படுத்தும் என்பதில் சந்தேகமில்லை. அலைவுறும் பொருள் காற்றைத் தள்ளி முன்னதாக நிலைபெற்றிருந்த இடங்களிலிருந்தும் காற்றுத் துகள்களை இடம் பெயரச் செய்கிறது. இச்செயல் அண்டை காற்றுப் படுகையை மட்டுமே பாதிக்கும் வரம்புக்குட்பட்டது அல்ல என்பது தெரியவருகிறது. அலைவுறும் பொருள் அதை அடுத்து அமைந்திருக்கும் காற்றுப் படுகையைத் தள்ளி, இப்படுகை இதற்கு அடுத்த படுகையை அழுத்தித் தள்ளுகிறது. ஆகவே படுகைக்கு மேல் படுகை, துகளுக்கு மேல் துகள் ஆக இவ்வாறு பொருளைச்

சுற்றியிருக்கும் காற்று முழுவதும் இயக்கத்துக்கு உட்படுத்தப் படுகிறது. காற்று, அதிர்வு நிலைக்குக் கொண்டு வரப்பட்டிருக்கிறது. அல்லது காற்றில் ஒலி **அதிர்வுகள்** (vibrations) உண்டாக்கப்பட்டிருக்கின்றன என நாம் கூறுகிறோம்.

ஊடகத்தின் அதிர்வுகளை நாம் ஒலி அதிர்வுகள் என அழைக்கிறோம். ஆனால் இவை அனைத்தையும் நாம் காதால் கேட்கிறோம் என்பது பொருளாகாது. இயற்பியல், ஒலி அதிர்வுகளின் கோட்பாட்டைப் பரந்த நோக்கில் பயன்படுத்துகிறது. எந்தெந்த ஒலி அதிர்வுகளையெல்லாம் நாம் காதால் கேட்கிறோம் என்பது பற்றிக் கீழே விவரிக்கிறோம்.

ஒலி பெரும்பாலும் காற்றின் வழியே பரப்பப்படுவதால் தான் நம் விவாதத்தில் காற்றும் இடம் பெற்றிருக்கிறது. ஆனால் உண்மையில், ஒலி அதிர்வுகளைக் கடத்திச் செல்லும் உரிமை முழுவதையும் பெறும் அளவுக்குக் காற்று, எவ்விதச் சிறப்பு அம்சத்தையும் கொண்டிருக்கவில்லை. இறுக்கம் அடையும் இயல்புடைய எந்த ஊடகத்திலும் ஒலி அதிர்வுகள் எழுகின்றன. ஆனால் இயற்கையில் எல்லாப் பொருட்களுமே இறுக்கம் அடையும் தன்மையுடையவையாய் இருப்பதால், எந்தப் பொருளின் துகள்களாயினும் அவை இந்நிலையில் இருக்க முடியும். இத்தகைய அதிர்வுகளைப் பற்றிய ஆய்வு **ஒலியியல்** (acoustics) என அழைக்கப்படுகிறது.

ஒலி அதிர்வுகளின் போது காற்றின் ஒவ்வொரு துகளும் சராசரியாக ஒரே இடத்திலேயே அமைந்திருக்கிறது. இத்துகள் இதன் சமநிலையை மையமாகக் கொண்டு அலைவுறுகிறது. மிக எளிய சூழ்நிலையில் காற்றுத் துகள் இசைவு அலைவை (harmonic oscillation) ஏற்படுத்துகிறது. நாம் ஞாபகப்படுத்திப் பார்த்தால், இவ்வலைவு சைன் விதிக்குட்பட்டு நடைபெறும் என்பது தெரியவருகிறது. இப்படிப்பட்ட அலைவு, பொருளின் சமநிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிற அதன் பெரும இடப்பெயர்ச்சி (வீச்சு), அலைவுநேரம், அதாவது முழு அலைவை ஏற்

படுத்துவதற்குத் தேவையான நேரம், முதலானவற்ருல் குறிக்கப்படுகிறது.

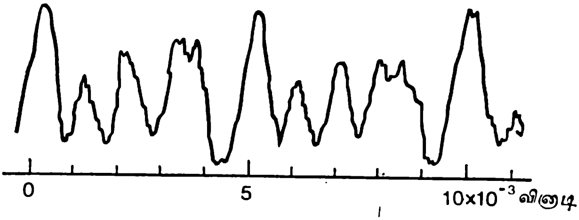
ஒலி அதிர்வுகளின் பண்புகளை விவரித்துக் கூறுவதற்கு அலைவுநேரம் என்னும் இயற்பாட்டைக் காட்டிலும் **அதிர்வு எண்** (frequency of vibraton) என்னும் இயற்பாடே மிக அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. அலைவுநேரத்தின் சினை மாற்ருக இருக்கும் அதிர்வெண் $\nu = 1/T$ என்று குறிக்கப்படுகிறது. அதிர்வெண், தலைகீழ் விஞடியை (விஞடி$^{-1}$) அலகாகக் கொண்டிருக்கிறது. அதிர்வு எண் 100 விஞடி$^{-1}$ க்குச் சமமாயிருந்தால், ஒரு விஞடியில் காற்றுத் துகள் 100 முழு அதிர்வுகளை ஏற்படுத்துகிறது என்பது பொருளாகும். ''100 தலைகீழ் விஞடிகள்'' என்று கூறுவதற்குப் பதிலாக ''100 ஹெர்ட்ஸ் (Hz)'' அல்லது விஞடிக்கு ''100 சுழற்சிகள்'' எனவும் நாம் குறிப்பிடலாம். இயற்பியலில் ஒரு ஹெர்ட்ஸைவிடப் பல மடங்குகள் பெரியதாயிருக்கும் அலைவெண்களை நாம் அடிக்கடி சந்திக்க நேரிடுவதால், கிலோ ஹெர்ட்ஸ் (கிலோசுழற்சிகள்) மெகாஹெர்ட்ஸ் (மெகா சுழற்சிகள்) என்னும் அலகுகள் பரவலாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன: 1 கி.ஹெர்ட்ஸ் $= 10^3$ ஹெர்ட்ஸ், 1 மெ. ஹெர்ட்ஸ் $= 10^6$ ஹெர்ட்ஸ்.

அதிர்வுறும் பொருள் அதன் சமநிலையைக் கடந்து செல்லும் பொழுது பெரும வேகத்தைக் கொண்டிருக்கிறது. மாருக, பெரும இடப்பெயர்ச்சியைக் கொண்ட நிலைகளில் துகளின் வேகம் இயல்பாகப் பூச்சியத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. துகளின் இடப்பெயர்ச்சி, இசைவு அலைவின் விதிக்கு உட்படுத்தப்பட்டிருந்தால், அதன் அதிர்வு வேகத்தில் ஏற்படும் மாறுதலும் இதே விதியைப் பின்பற்றுகிறது என்பதை நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கிரேம். இடப்பெயர்ச்சியின் வீச்சு (amplitude) மதிப்பை s_0 என்றும் வேகத்தின் வீச்சு மதிப்பை v_0 என்றும் குறித்தால், $v_0 = \frac{2\pi s_0}{T}$ அல்லது

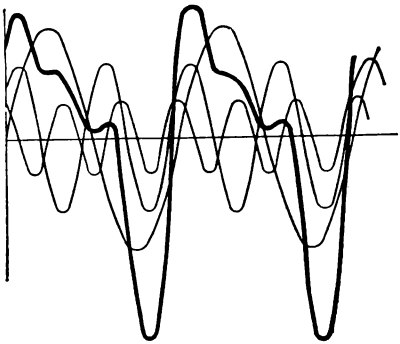
$v_0 = s_0 2\pi \nu$ ஆகும். உரக்கப் பேசும் பொழுது, ஒரு சென்டிமீட்டரில் சில மில்லியனில் ஒரு பகுதிக்குச் சமமான அளவு வீச்சுடன் கூடிய அதிர்வுகளையே காற்றுத் துகள்களை ஏற்படுத்துகின்றன. வேகத்தின் வீச்சு மதிப்பு 0.02 செ.மீ/விநாடி என்ற அளவில் அமைந்திருக்கிறது.

துகளின் வேகம், இடப்பெயர்ச்சி முதலானவற்றுடன் சேர்ந்து மாறும் மற்றொரு முக்கியமான இயற்பியல் கணியம், ஒலி அழுத்தம் என அழைக்கப்படும் **கூடுதல் அழுத்தமாகும்.** ஊடகத்தின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் ஏற்படும் இடுக்கம், அடர்குறைப்பு முதலானவற்றின் பருவ முறை மாற்றத்தாலேயே காற்றின் ஒலி அதிர்வு நிலைபெற்றிருக்கிறது. எந்த இடத்திலும் செயல்படும் காற்றழுத்தம் சில நேரங்களில் ஒலி இல்லாதிருக்கும் போது செயல்படும் அழுத்தத்தைவிட அதிகமாகவும் மற்றும் சில நேரங்களில் அதைவிடக் குறைவகைவும் இருக்கிறது. அழுத்தத்தின் இக்கூடுதல் (அல்லது குறைவு) அளவே ஒலி அழுத்தம் என அழைக்கப்படுகிறது. ஒலி அழுத்தமானது இயல்பான காற்றழுத்தத்தின் சிறு பகுதியாகவே இருக்கிறது. உரக்கப் பேசுதல் என்னும் உதாரணத்தில் எழும் ஒலி அழுத்தத்தின் வீச்சு ஒரு வளியழுத்தத்தில் ஏறக்குறைய மில்லியனில் ஒரு பகுதிக்குச் சமமாகும். ஒலி அழுத்தம், துகளின் அதிர்வு வேகத்துக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. இவ்வியற்பியல் கணியங்களின் விகிதம் ஊடகத்தின் பண்புகளை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. உதாரணமாக, 0.025 செ.மீ/விநாடி என்னும் அதிர்வு வேகம், காற்றில் 1 டைன்/செ.மீ^{2} என்னும் ஒலி அழுத்தத்துக்கு உரியதாகும்.

சைன் விதியின்படி அதிர்வுறும் கயிறு, காற்றுத் துகள்களை இசைவு அலைவுக்கு உட்படுத்துகிறது. இரைச்சல்களும் இசை ஒலிகளும் அதிகச் சிக்கலான சூழ்நிலையை உண்டாக்குகின்றன. ஒலி அதிர்வுகளின் வரைபடம், அதாவது ஒலி



படம் 114



படம் 115

அழுத்தம் நேரத்தின் மீது கொண்டுள்ள சார்பைக் குறிக்கும் வரைபடம், படம் 114ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வளைகோடு, சைன் அலையுடன் சிறிதளவே ஒத்திருக்கிறது. ஆயினும் எதேச்சையான, அதிகச் சிக்கலான அதிர்வு, வித்தியாசமான வீச்சுக்களையும் அதிர்வு எண்களையும் கொண்ட பல சைன் அலைவுகளின் மேற்பொருத்துதலின் விளைவால் குறிக்கப்படலாம் என்று தெரியவருகிறது. இவ்வெளிய அதிர்வுகளே, சிக்கலான அதிர்வின் நிறமாலை (spectrum) என்று கூறப்படுகிறது. எளிய உதாரணத்துக்குரிய இத்தகைய அதிர்வுகளின் மேற்பொருத்துதல், படம் 115ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

ஒலியின் வேகம்

மின்னல் பளிச்சிட்டு முடிந்த பின்னர் இடி முழக்கம் ஏற்படுவதைக் கேட்டு நாம் அச்சமடைய வேண்டியதில்லை. இதைப் பற்றி நாம் கேள்விப்பட்டிருப்போம் என்பதில் சந்தேகமில்லை. ஆனால் ஏன் இவ்வாறு நிகழ்கிறது? ஒளி, ஒலியுடன் ஒப்பிட முடியாத அளவுக்கு வேகமாகப் பரவிச் செல்கிறது— நடைமுறை சாத்தியமாகக் குறிப்பிட்டால், உடனேயே பரப்பப்படுகிறது. இடியும் மின்னலும் ஒரே நேரத்திலேயே தோன்றுகின்றன. ஆனால் மின்னல் தோன்றியவுடனேயே நாம் அதைப் பார்க்க முடிகிறது. கிட்டத்தட்ட ஒவ்வொரு மூன்று வினாடிகளிலும் ஒரு கிலோமீட்டர் என்ற வேகத்துடன் (காற்றில் ஒலியின் வேகம் 330 மீ/வினாடி ஆகும்) இடி ஒலி நாம் இருக்கும் இடத்தை அடைகிறது. ஆகவே இடி முழக்கம் நம் காதுகளை எட்டும் பொழுது, நாம் மின்னலால் பாதிக்கப்படும் அபாயம் ஏற்கனவே நீங்கிவிட்டது.

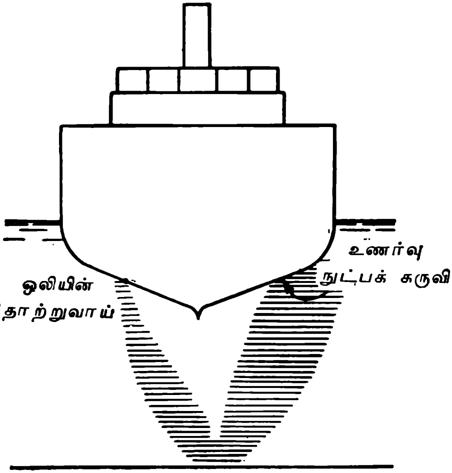
ஒலி பரவும் வேகத்தைத் தெரிந்திருந்தால், எவ்வளவு தூரத்துக்கப்பால் இடி முழங்குகிறது என்பதைப் பொதுவாக நாம் கணிக்க முடிகிறது. மின்னல் பளிச்சிட்ட நேரத்திலிருந்து இடி முழக்கம் நம் செவிகளால் உணரப்பட்ட நேரம் வரையிலும் 12 வினாடிகள் கடந்திருந்தால், 4 கி.மீ க்கு அப்பால் இடி தோன்றியிருக்க வேண்டும்.

வாயுக்களில் ஒலியின் வேகம் கிட்டத்தட்ட அவற்றின் மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவ்வேகம் வாயுவின் அடர்த்தியைச் சார்ந்திருப்பதில்லை: இது அவ்வாயுவின் மெய் வெப்பநிலையிலிருந்த இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. வாயுக்களைக் காட்டிலும் திரவங்கள் ஒலியை அதிக வேகத்துடன் பரப்புகின்றன. தண்ணீரில் ஒலி 1450 மீ/வினாடி என்ற வேகத்துடன் பரப்பப்படுகிறது. இது காற்றில் பரப்படும் வேகத்தைவிட 4.5 மடங்கு

அதிகமானதாகும். திடப்பொருட்களில் ஒலியின் வேகம் இன்னும் கூடுதலாயிருக்கிறது. உதாரணமாக, இரும்பில் இவ்வேகம் ஏறக்குறைய 6000 மீ/விஞடி ஆகும்.

ஒலி ஒரு ஊடகத்திலிருந்து மற்ருெரு ஊடகத்துக்குக் கடந்து செல்லும் பொழுது, அதன் பரப்புகை வேகம் மாறுகிறது. ஆஞல் உடனிகழ்வாக, கவனத்தைக் கவரும் மற்ருெரு இயற்பாடும் நிகழ்கிறது. இரு ஊடகங்களுக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் எல்லேயில் ஒலியின் பகுதிப் பிரதிபலிப்பு நடைபெறுகிறது. பிரதிபலிக்கப்பட்ட ஒலியின் பகுதி முக்கியமாக அடர்த்திகளின் விகிதத்தையே சார்ந்திருக்கிறது. காற்றின் வழியே கடந்து சென்று கொண்டிருக்கும் ஒலி திடப்பொருளின் பரப்பின் மீது அல்லது திரவத்தின் பரப்பின் மீது விழும் பொழுது, அல்லது இதற்குத் தலேகீழான சூழ்நிலேயில் பெரும்பாலும் ஒலி முழுவதும் பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. ஒலி, காற்றிலிருந்து தண்ணீருக்குள் நுழையும் பொழுது, அல்லது இதற்குத் தலேகீழாக, தண்ணீரிலிருந்து, காற்றுக்குள் நுழையும் பொழுது, ஒலியில் 1/1000 பகுதி மட்டுமே இரண்டாவது ஊடகத்திஞுள் கடந்து செல்கிறது. இரு ஊடகங்களுமே அதிக அடர்த்தி உடையதாயிருந்தால், பரப்பப்பட்ட ஒலிக்கும் பிரதிபலிக்கப்பட்ட ஒலிக்கும் இடையேயான விகிதம் மிகச்சிறியதாய் இருக்கக் கூடும். உதாரணமாக 13% ஒலியே தண்ணீரிலிருந்து இரும்பினுள்ளும் இரும்பிலிருந்து தண்ணீரினுள்ளும் கடந்து செல்கிறது; 87% பிரதிபலிக்கப்படுகிறது.

கடல் பயணத்தின் போது (in navigation) ஒலி பிரதிபலிபின் இயற்பாடு அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆழங்களே அளப்பதற்குப் பயன்படும், ஒலி சார்ந்த ஆழமானி (sonic depth finder) (படம் 116)யின் அமைப்பு இதையே அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கிறது. கப்பலின் ஒரு பக்கத்தில் தண்ணீருக்கு அடியில் ஒலியின் தோற்றுவாய் வைக்



படம் 116

கப்படிருக்கிறது. தொடர்ச்சியற்ற ஒலி, ஒலிக் கற்றைகளை உண்டாக்குகிறது. இவ்வொலிக் கற்றைகள் தண்ணீரின் வழியே கடல் அல்லது ஆற்றின் அடிப்பாகத்தை அடைந்து பின் அங்கிருந்து பிரதிபலிக்கப்பட்டு, அதன் பகுதி மட்டும் கப்பலை நோக்கித் திரும்பி வருகிறது. கப்பலில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் உணர்வு நுட்பக் கருவிகள் இவற்றைப் பதிவு செய்கின்றன. இப்பயணத்தை மேற்கொள்வதற்கு ஒலி எவ்வளவு நேரம் எடுத்துக் கொள்கிறது என்பதைத் துல்லியமான கடிகாரங்களின் மூலம் நாம் தெரிந்து கொள்ளலாம். தண்ணீரில் ஒலியின் வேகத்தை தெரிந்திருக்கிறோம். எளிய கணக்கீட்டின் மூலம் கடல் அல்லது ஆற்றின் ஆழத்தை நாம் துல்லியமாக மதிப்பிடுவது சாத்தியமாகிறது.

இக்கருவியின் உதவி கொண்டு ஒலியைக் கீழ்நோக்கிச் செலுத்துவதற்குப் பதிலாக முன்நோக்கியோ அல்லது பக்

கவாட்டுகளிலோ செலுத்துவதன் மூலமாக அபாயகரமான கடல் நீரடிப் பாறைகள் அல்லது ஆழத்தில் மூழ்கியிருக்கும் பனிப்பாறைகள் கப்பலின் அருகில் அமைந்திருக்கின்றனவா என்பதைத் தீர்மானிப்பது சாத்தியமாகிறது.

ஒலி அலை

ஒலி, நேர இடைவெளியின்றி உடனேயே பரவுவதாக இருந்தால், காற்றுத் துகள்கள் யாவும் ஒத்திசைவுடன் அதிர்வுறுகின்றன. ஆனால் ஒலி உடனேயே பரவுவதில்லை; இதனால் பரப்புகை கோடுகளின் மீது அமைந்திருக்கும் காற்றுப் பொருண்மைகள் தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிவந்து கொண்டிருக்கும் அலையின் செயற்பாட்டுக்குட்படுத்தப்பட்டிருப்பது போன்று வரிசைக் கிரமத்தில் இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்படுகின்றன. சரியாக இதே போன்றுதான் தண்ணிரில் எறியப்பட்ட கூழாங்கல்லிலிருந்து தோன்றும் வட்ட அலைகள் செயலாற்றி அதிர்வுறச் செய்யும் வரை மரத்துணுக்கு தண்ணீரில் அமைதியாக மிதக்கிறது.

ஒலி பரப்புகைக் கோட்டின் மீது அமைந்து, அதிர்வு செய்து கொண்டிருக்கும் துகளின் மீது நம் கவனத்தைச் செலுத்தி, அதன் செயல்முறையை அதே கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கும் ஏனைய துகள்களின் இயகங்களுடன் ஒப்பிடுவோம். இத்துகளுக்கு அடுத்து அமைந்திருக்கும் துகள் சிறிது காலம் கடந்தே அதிர்வுற ஆரம்பிக்கிறது. இதற்கு அடுத்தாற்போல் அமைந்திருக்கும் துகள் இன்னும் காலம் கடந்து அதிர்வுற ஆரம்பிக்கிறது. இக்கால தாமதம் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது. முடிவில் முழு அலைவுநேரத்துக்குப் பின்தங்கி அலைவுறும் துகளைச் சந்திக்கிறோம். இத்துகளின் அதிர்வுக்கும் நாம் ஆரம்பத்தில் கவனித்து வந்த துகளின் அதிர்வுக்கும் இடையே கால தாமதம் இருப்பதாகத்

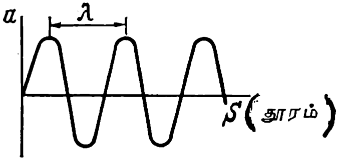
தோன்றுவதில்லை. ஆகவே முன்னால் ஓடிக் கொண்டிருக்கும் ஓட்ட வீரர் ஒருவரிடமிருந்து ஒரு முழுச்சுற்று வட்ட அளவு பின்தங்கிவிட்ட மற்றொரு வீரர், முன்னவருடன் சேர்ந்து உடனிகழ்வாக முடிவுக் கோட்டைக் கடக்க முடிகிறது. ஆனால் ஆரம்பத்தில் நாம் கவனித்து வந்த துகளின் இயக்கத்திலிருந்து நேர இடைவெளி இன்றி அதிரும் மற்றொரு புள்ளி எவ்வளவு தூரத்தில் அமைந்திருக்கிறது? λ என்று குறிக்கப்படும் இத்தூரம், ஒலி பரப்புகை வேகமாகிய c, அலைவு நேரமாகிய T முதலியவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது என்பதை எளிதில் புரிந்து கொள்ளலாம். λ என்னும் இத்தூரம் அலை நீளம் என்று அழைக்ககபடுகிறது:

$$\lambda = cT.$$

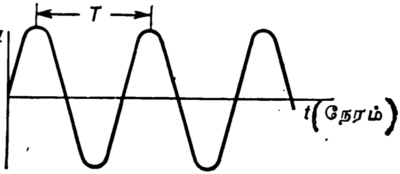
நேர இடைவெளியின்றி அதிர்வுறும் புள்ளிகள் λ என்னும் நீள இடைவெளிகளுக்கப்பால் அமைந்திருக்கின்றன. $\lambda/_2$ என்னும் தூர இடைவெளிகளைக் கொண்ட புள்ளிகள் ஒரு ஆடியின் தளத்துக்குச் செங்குத்தாக அதிர்வுறும் பொருள் அதன் பிம்பத்துக்குச் சார்பாக இயங்குவது போன்றே ஒன்றுக்கொன்று சார்பாக இயங்குகின்றன.

நாம் இசைவு ஒலியின் பரப்புகைக் கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கும் எல்லாப் புள்ளிகளின் இடப்பெயர்ச்சியையும் (அல்லது வேகம் அல்லது ஒலி அழுத்தம்) காகிதத்தில் குறித்தால், திரும்பவும் சைன் அலையே கிடைக்கிறது.

அலை இயக்கம், அதிர்வு முதலியவற்றின் வரைபடங்களை ஒன்றோடொன்று குழப்பிக் கொள்ளக் கூடாது. படம் 117க்கும் படம் 118க்கும் இடையே அதிக வடிவ ஒற்றுமை இருக்கிறது. ஆனால் முதல் படத்தில் கிடையச்சின் மீது தூரம் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது, இரண்டாவது படத்தில் கிடையச்சின் மீது நேரம் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு டம் நேரத்துக்குச் சார்பாக அதிர்வின் வளர்ச்சியைக்



படம் 117



படம் 118

குறிக்கிறது. ஆனால் மற்றொன்றோ அலையின் கண நேர ''ஒளிப்படத்தைக்'' காட்டுகிறது. இவ்விரு வரைபடங்களையும் ஒப்பிடும் பொழுது, அலை நீளம், பருவ நிகழ்வு இடைவெளி எனவும் அழைக்கப்படலாம் என்பது தெரியவருகிறது: நேரத்தைப் பொறுத்தமட்டில் T கொண்டிருக்கும் அதே நிலையையே விசும்பைப் பொறுத்தமட்டில் λ என்ற கணியமும் கொண்டிருக்கிறது.

அலையைக் குறிக்கும் வரைபடத்தில் நிலைக்குத்தச்சின் மீது துகளின் இடப்பெயர்ச்சிகள் குறிக்கப்படுகின்றன. அலையின் பரப்புகைத் திசையைக் குறிக்கும் கிடையச்சின் மீது தூரம் குறிக்கப்படுகிறது. அலையின் பரப்புகைத் திசைக்குச் செங்குத்தாகத் துகள்கள் இடப்பெயர்ச்சியடைகின்றன என்ற தவறான கருத்தை இது உணர்த்தலாம். ஆனால் உண்மையில் ஒலியின் பரப்புகைத் திசையிலேயே எப்பொழுதும் துகள்கள் அதிர்வுறுகின்றன. இப்படிப்பட்ட அலை, நீளவாக்கானது (longitudinal) என அழைக்கப்படுகிறது.

செவியுணர் ஒலி

நம் காது எந்தெந்த ஒலிகளையெல்லாம் உணர முடிகிறது? காது, கிட்டத்தட்ட 20லிருந்து 20000 ஹெர்ட்ஸ் வரையுள்ள இடைவெளியில் அமைந்திருக்கும் அதிர்வுகளை

மட்டுமே உணரக்கூடிய இயல்புடையது என்பது தெரிய வருகிறது.

உயர்ந்த அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட ஒலிகள் உயர் சுருதி கொண்டவை எனவும் குறைந்த அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட ஒலிகள் தாழ் சுருதி கொண்டவை எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.

ஆனல் செவியுணர் ஒலியின், எல்லை அதிர்வெண்களுக்கு உரிய அலை நீளங்கள் யாவை? ஒலியின் வேகம் கிட்டத்தட்ட 300 மீ/விஞடிக்குச் சமமாயிருப்பதால், $\lambda = cT = c/\nu$ என்ற சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்தி, செவியுணர் ஒலி அலைகளின் நீளங்கள், தாழ்ந்த சுரத்துக்கு 15 மீ ஆகவும் உயர்ந்த சுரத்துக்கு 3 செ. மீ ஆகவும் அமைந்திருக்கும் வரம்புக்குட்பட்டிருக்கின்றன என்பதை நாம் காண்கிருேம்.

இவ்வதிர்வுகளை நாம் எவ்வாறு ''கேட்கிருேம்''?

ஒலி உணரும் கருவி எவ்வாறு வேலை செய்கிறது என்பது இன்னும் தெளிவாகக் கூறப்படவில்லை. காற்றிலிருந்து செவிப்பறைச் சவ்வு மூலமாக ஒலி அலைகள் செவிச்சுருளுக்கு (செவிச்சுருள் எனப்படுவது பாய்மத்தால் நிறைக்கப்பட்டுச் சில செ.மீ நீளமுள்ள குழலாகும்) கடத்தப்படுகின்றன. காதின் உட்பகுதியில் இவ்வொலி அலைகளை உணரும் இயல்புடைய சில ஆயிரக்கணக்கான உணர்வு நரம்புகள் அமைந்திருக்கின்றன. இதுவே செவி, ஒலியை உணரும் முறையின் சாரமாகும். ஒலியின் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்து செவிச்சுருளில் ஏதாவது ஒரு பகுதி அதிகமாக அதிர்கிறது. உடனிகழ்வாக உணர்வு நரம்புகளில் பல தூண்டப்படும் அளவுக்கு இவ்வுணர்வு நரம்புகள் செவிச்சுருளுக்கு மிக நெருக்கமாக அமைந்திருந்த போதிலும் மனிதன் (அல்லது மிருகங்கள்), குறிப்பாகக் குழந்தைப் பருவத்தில், அதிர்வெண்களில் ஏற்படும் மிக நுண்ணிய மாறுதல்களைக் கூட (பல ஆயிரங்களில் ஒரு பகுதி) வித்தியாசப்படுத்திக் கூறும் இயல்புடையவனு

யிருக்கிறன். இது எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பது இன்னும் சரியாக அறியப்படவில்லே. வித்தியாசமான பல நரம்புக லிருந்து மூளேயை அடையும் புறத்தூண்டுதல்களே மூளே பகுப்பாய்வு செய்கிறது என்னும் நாமறிந்த உண்மை ஒன்றே இங்கு மிகவும் முக்கியம் வாய்ந்ததாக இருக்கிறது. நம் செவியைப்போன்று ஒலியின் அதிர்வெண்களே நன்கு உய்த்துணரும் இயல்புடைய மனித செவியின் எந்திரவியல் மாதிரி ஒன்று இன்னும் கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டியிருக் கிறது.

சிலர் சுரங்களே மிகத் தெளிவாக வித்தியாசப்படுத்தும் திறமையைக் கொண்டிருக்கின்றனர். பியானேவில் சிக்கலான நாணே இயக்கும் பொழுது நாம் எந்தெந்த விசைக் கட் டைகளேத் தட்டுகிறேம் என்பதை இப்படிப்பட்ட ஒருவர் நமக்குக் கூறிவிடுவார். ஆகவே அவருடை காது சிக்க லான ஒலியை அதன் இசைவுக் கூறுகளாகப் பிரிக்கும் இயல் புடையதாயிருக்கிறது.

இசை

ஒலியழுத்த வரைபடத்தின் மூலம் இசையொலிக்கும் இரைச்சல் ஒலிக்கும் இடையேயான வேறுபாட்டை ஏற் கனவே நாம் விவரித்துக் கூறியிருக்கிறேம். ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணேக் கொண்ட பருவ அதிர்வுகளாலேயே இசை யின் எளிய சுரம் உண்டாக்கப்படுகிறது. சிக்கலான ஒலிகள் யாவும் தூய சுரங்களின் சேர்க்கையேயாகும்.

இசைக்குழுவைச் சேர்ந்த இசைப்பாடகர்கள் பெரும் பாலும் செவியுணர் அதிர்வெண்கள் முழுவதையும் உண் டாக்குகின்றனர். பெரிய பியானே கிட்டத்தட்ட 25 லிருந்து 4000 ஹெர்ட்ஸ் வரையிலான அதிர்வெண்களேக் கொண்ட சுரங்களே உண்டாக்கும் ஆற்றல் உடையதாகும்.

ஒலிச் சேர்க்கைகள் அனேத்தும் கேட்பவர்களேச் சந்

தோசமடையச் செய்வதில்லை ஒன்றேடொன்று எளிய விகிதங்களைக் கொண்டிருக்கும் அதிர்வெண்களையுடைய ஒலிகளால் மட்டும்தான் ஆனந்த உணர்வுகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன என்பது தெரியவருகிறது. ஒலியின் அதிர்வெண்கள் ஒன்றேடொன்று 2 : 1, 5 : 4, 4 : 3, 3 : 2 ஆகிய விகிதங்களில் அமைந்திருந்தால், அவற்றை முறையே பன்னிரெண்டு அசைச்சுரத்தொகுதி, மூன்றுவது முக்கிய சுரத்தொகுதி, நான்காவது சுரத்தொகுதி, ஐந்தின் சுரத்தொகுதி என நாம் குறிப்பிடுகிறேம். ஒலியின் அதிர்வெண்கள் இத்தகைய எளிய விகிதங்களைக் கொண்டிருக்காவிடில் கேட்பவர்களுக்கு ஆனந்த உணர்வு ஏற்படுவதில்லை. இச்சூழ்நிலையில்தான் இசைக்கலைஞர்கள் முரண்பாட்டைப் பற்றிக் குறிப்பிடுகின்றனர். மாறுபட்ட சுரங்களின் சேர்க்கைகளைச் செவி நன்கு உணர்கிறது ஆகவே சராசரி கேட்குந்திறனுடைய ஒருவரால் கூட இசை முரண்பாட்டை உணர முடிகிறது.

விசைக்கட்டைகள் இல்லாத வயலின் போன்ற கருவிகளின் உதவியால் இசைக்கலைஞர் எல்லாச் சுரங்களையும் சுரங்களின் எல்லாச் சேர்க்கைகளையும் உண்டாக்குகிறுர்.

பெரிய பியாஞேவைப்போன்ற கருவிகளைப் பொறுத்த மட்டில் நிலைமை வித்தியாசமாயிருக்கிறது. பெரிய பியாஞேவின் நரம்புகள் குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்களுக்கு ஏற்ற சுதிகளில் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இசைக்கட்டைகளை அழுத்துவதன் மூலம் இவை எழுப்பும் ஒலியின் சுரங்களை மாற்ற முடியாது. பெரிய பியாஞேவின் ஆணிப்பட்டை முழுமையான எட்டுச் சுரங்கள் ஏழினைக் கொண்டிருக்கிறது. இவற்றில் தாழ்ந்த சுரம் 32.64 ஹெர்ட்ஸ் என்னும் அதிர்வெண்ணையும் உயர்ந்த சுரம் $32.64 \times 2^7 = 4178$ ஹெர்ட்ஸ் என்ற அதிர்வெண்ணையும் கொண்டிருக்கின்றன. பன்னிரு அசை சுரத்தொகுதியை எவ்வாறு பிரி

பது என் பதில்தான் சிக்கல் இருக்கிறது. அதாவது கீழ்வரும் இரண்டு நிபந்தனைகளும் நிறை வேற்றப் பட வேண்டுமானால் எந்தெந்த இடைப்பட்ட சுரங்களைப் புகுத்த வேண்டும்? முதலாவதாக அதிர்வெண்கள் கூடிய மட்டிலும் ஒன்றோடொன்று எளிய விகிதங்களைக் கொண்டிருத்தல் வேண்டும்; இரண்டாவதாக, எண் சுரத் தொகுதியைச் சம இடைவெளிகளில் பிரிக்க வேண்டும் (அதாவது அடுத்தடுத்த அதிர்வெண்களின் விகிதங்கள் சம மானவைகளாய் இருத்தல் வேண்டும்), ஏனெனில் இச்சூழ் நிலையில் மட்டுமே பன்னிரு அசை தொகுதியில் எந்தச் சுரத்துடன் (வித்தியாசமான சுதியுடைய அதே பண்திறம்) ஆரம்பித்தாலும் ஒரே பண்திறத்தையே உண்டாக்க முடிகி றது. மிகச் சரியாகக் குறிப்பிட்டால், இவ்விரு நிபந்தனைக ளும் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பட்டிருக்கின்றன. சம அள வில் வம்னிக்கப்பட்ட சுரவரிசை (tempered scale) என்ற அமைப்பின் மூலமாக இது கை கூடுகிறது.

பன்னிரு அசை சுரத்தொகுதியை 12 சம இடைவெளி களாகப் பிரித்தால், நாம் அடைவது என்ன என்பதைப் பற்றிப் பரிசீலிப்போம். இவ்விடைவெளிகளில் ஒவ்வொன் றும் $2^{1/12} = 1.059$க்குச் சமமாயிருக்கிறது. அடுத்தடுத்த இரு சுரங்களின் விகிதம் இந்த எண்ணுக்குச் சமமாயிருக்கி றது என்பதுதான் இதன் பொருளாகும்.

கீழ்வரும் எண்களை நாம் இப்பொழுது எழுதிப் பார்ப் போம்

1) $2^{1/12} = 1.059$;	5) $2^{5/12} = 1.335$;	9) $2^{9/12} = 1.682$;
2) $2^{2/12} = 1.122$;	6) $2^{6/12} = 1.414$;	10) $2^{10/12} = 1.782$;
3) $2^{3/12} = 1.189$;	7) $2^{7/12} = 1.498$;	11) $2^{11/12} = 1.888$;
4) $2^{4/12} = 1.260$;	8) $2^{8/12} = 1.587$;	12) $2^{12/12} = 2$.

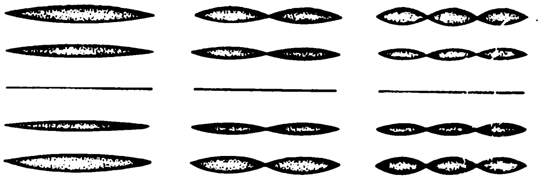
இசைக்கலைஞர் திருப்தியடையும் வகையில் எண் கணக்

ரியலின் வாயிலாகப் பிணக்குத் தீர்வு காணப்பட்டிருக்கி றது என்பதை அவர் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும்: பன் னிரு அசை சுரத்தொகுதி சம பாகங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டி ருக்கிறது; அதே சமயத்தில் பல சுருதிகளின் விகிதங்கள் பகா எண்களின் விகிதங்களோடு மிகவும் ஒட்டியிருக்கின் றன. $1.498 \cong 3/2$; $1.260 \cong 5/4$; $1.335 \cong 4/3$ என்னும் தோராயங்கள் செல்லுபடியாவதால் இங்கு ஐந்தின் சுரத் தொகுதியையும் (7) நான்காவது சுரத்தையும் (5) மூன்ரு வது முக்கிய சுரத்தையும் (4) நாம் காண்கிருேம். ஏனையவற் றிலும் இந்நிலை மிகவும் பொருந்துவதாய் இருக்கிறது. இவற்றில் தோன்றும் வேறுபாடு 1% ஐ விஞ்சுவதில்லை. $1.414 \cong 7/5$; $1.112 \cong 9/8$; $1.587 \cong 8/5$; $1.682 \cong 5/3$; $1.888 \cong 17/9$; முதல் இடைவெளி ($1.059 \cong 18/17$) மட்டுமே வெளிப்படையான, இசை முரண்பாட்டைத் தருகிறது.

படித்தர சுரவரிசையில் (அதாவது அடுத்தடுத்த அதிர் வெண்களின் விகிதங்கள் முழு எண்களின் விகிதங்களுடன் முழுவதுமாக ஒத்திருக்கும் சூழ்நிலையில்) இருந்தும் சிறித ளவு விலகியிருக்கும் நிலையைக் காது நன்கு உணர்வதில்லை. ஆகவேதான் சம அளவில் வன்மிக்கப்பட்ட சுரவரிசையைக் கொண்ட பெரிய பியானேக்கள் பரவலாகப் பழக்கத்தில் இருக்கின்றன.

ஒலியின் தரம்

யாழ் எவ்வாறு சுதியேற்றப்படுகிறது என்பதை நாம் பார்த்திருக்கிருேம்: ஊசி முனையில் நரம்பு இழுத்துக் கட் டப்பட்டிருக்கிறது நரம்பின் நீளமும் நரம்பு நீட்டப்படும் அளவும் சரியாகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டிருந்தால், சுண்டும் பொழுது இந்நரம்பு ஒரு குறிப்பிட்ட ஒலியை உண்டாக் குகிறது.



படம் 119

ஆயினும் நரம்பு இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கும் இரு முனைகளுக்கிடையே அமைந்துள்ள தூரத்தில் கால் பகுதி தூரத்திலும் பாதி தூரத்திலும் அல்லது வேறெந்தப் பகுதியிலும் ஆக பல பகுதிகளில் நரம்பைச் சுண்டும் பொழுது, முற்றிலும் வித்தியாசமாயிருக்கிற ஒலிகளையே நாம் கேட்கிறோம். சுருதி ஒன்றாகவே இருக்கிறது; ஆனால் அவற்றின் ஒலித்திரிபமைவு (shade) அல்லது இசைக்கலைஞர்கள் கூறுவது போல ஒலியின் தரம் வித்தியாசமாக இருக்கிறது. ஆனால் இவ்வித்தியாசத்தின் சாராம்சம் என்ன? ஒரே சுருதியைக் கொண்ட ஒலிக்கு வித்தியாசமான ஒலித்திரிபமைவைக் கொடுப்பது எது என்பனவற்றைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

ஒரே நரம்பு பல விதங்களில் அதிர்வு செய்ய முடியும் என்ற உண்மையிலேயே இவ்வித்தியாசத்துக்கான காரணம் அமைந்திருக்கிறது. நரம்பில் சாத்தியமாகும் பலதரப்பட்ட அதிர்வுகள் படம் 119ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

சிறும அதிர்வெண்ணுடன் (இது **அடிப்படை அதிர்வெண்** எனவும் அழைக்கப்படுகிறது) கூடிய அதிர்வு வரைபடத்தின் இடது கோடியில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. நரம்பின் இரு முனைகளும் கட்டப்பட்டிருக்கின்றன; நடுப்புள்ளி பெருமமான வீச்சுடன் அதிர்வுகளைச் செய்கிறது. நரம்பு முழுவதிலும் தோன்றும் அதிர்வுகளை வாசகர்களின் மனக் கண் முன்னால் கொண்டு வரும் நோக்கத்துடனேயே நரம்பின் அடுத்தடுத்த சில நிலைகள் படத்தில் விளக்கமாகக்

காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றுள் நரம்பின் முழுப்பகு தியும் நேர்கோட்டின் மீது அமைந்திருக்கும் ஒரு நிலையும் அடங்கியிருக்கிறது. இந்நேரத்தில் நரம்பின் எல்லாப் புள் ளிகளும் உடனிகழ்வாக அவற்றின் சமநிலைகளைக் கடந்து செல்கின்றன. நடுவே அமைந்திருக்கும் படம், கிட்டத்தட்ட இரண்டு அடிப்படை அதிர்வெண்ணுடன் அதிர்வு செய்யும் நிலையைக் குறிக்கிறது. இந்நிலையில், கட்டப்பட்டிருக்கும் இரு நுனிப் பகுதிகளைத் தவிர நரம்பின் நடுப்புள்ளியும் ஒய்வுநிலையில் இருக்கிறது. இவ்வாறு ஒய்வுநிலையிலிருக்கும் புள்ளி அதிர்விலாப் புள்ளி (node of the vibration) என அழைக்கப்படுகிறது. நரம்பின் நுனியிலிருந்து 1/4 பகுதி தூரத்தில் அமைந்திருக்கும் புள்ளிகள் பெரும வீச்சுடன் அதிர்வு செய்கின்றன. இப்புள்ளிகளில் கண்ணிகள் (loops) அல்லது எதிர்க்கணுக்கள் (antinodes) அமைந்திருக்கின்றன என நாம் கூறுகிறோம். தெளிவு காரணமாக, நரம்பின் சில நிலைகளும் விவரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மற்ற நிலைகளிலிருப் பது போன்று இந்நிலையிலும் நரம்பின் எல்லாப் புள்ளிகளும் உடனிகழ்வாகச் சமநிலையைக் கடந்து செல்கின்றன.

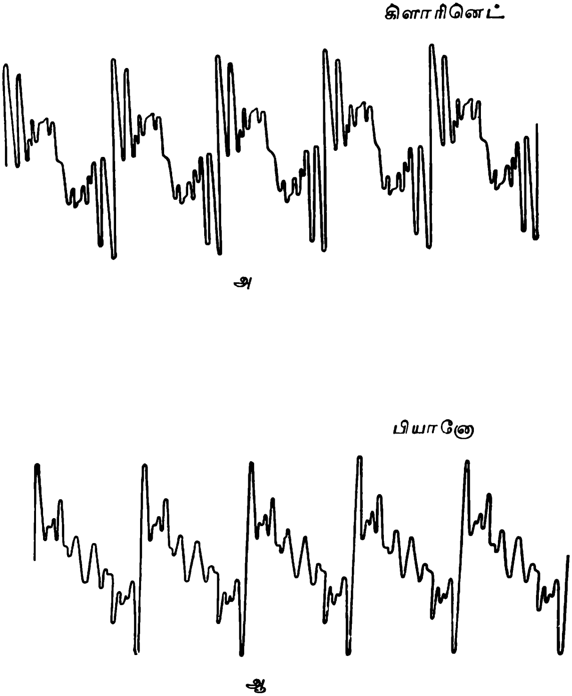
வலது கோடியில் அமைந்திருக்கும் படத்தைப் பற்றி நாம் விளக்கிக் கூறத் தேவையில்லை. இதில் கிட்டத்தட்ட மூன்று மடங்கு அடிப்படை அதிர்வெண்ணுடன் கூடிய அதிர்வு காட்டப்பட்டிருக்கிறது: இரண்டு அதிர்விலாப் புள் ளிகளும் மூன்று கண்ணிகளும் இவ்வதிர்வின் பண்பியல்புக ளாக அமைந்திருக்கின்றன.

தூண்டுகளைப் பொறுத்து நரம்பு இதைவிட அதிக அதிர் வெண்களுடனும் அதிர்வு செய்ய முடிகிறது. இவ்வதிர்வு கள் அனைத்தும் இயல்பு அதிர்வு வகைகள் (normal modes of vibration) அல்லது பண்பியல் அதிர்வு (Eigen vibrations) வகைகளைச் சேர்ந்தவைகளாயிருக்கின்றன.

அடிப்படை அதிர்வுகளைத் தவிர்த்து; மற்றெல்லாப் பண்

பியல் அதிர்வுகளும் உண்டாக்கும் ஒலிகள் மேற்சுரங்கள் (overtones) என அழைக்கப்படுகின்றன. நரம்பு எழுப்பும் ஒலி, அடிப்படை சுரம், மேற்சுரங்கள் ஆகியவற்றின் ஒலிகளால் ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது. நரம்பை வெவ்வெறு பகுதிகளில் சுண்டும் பொழுது, பலதரப்பட்ட அதிர்வுகளின் தொகுதியை (spectra) நாம் உண்டாக்குகிறோம். இவ்வாறு நடுப்பகுதியில் சுண்டியிழுத்தால், அடிப்படை சுரம் மிகப் பலமானதாகத் தோன்றுகிறது. 1/4 பகுதி தூரத்தில் அமைந்திருக்கும் புள்ளியில் சுண்டினால், இரண்டு அடிப்படை அதிர்வெண்ணுடன் கூடிய மேற்சுரம் அதிக வலிமையுடன் ஒலிக்கிறது. எதேச்சையான ஒரு புள்ளியில் சுண்டும் பொழுது, எழும் அதிர்வுகளின் தொகுதி வித்தியாசமான வலிமைகளுடன் கூடிய பல மேற்சுரங்களைக் கொண்டிருக்கிறது. இந்த மேற்சுரங்களே, ஒலியின் திரிபமைவை (தரம் அல்லது ஒலிப்பண்பு) உண்டாக்குகின்றன.

ஒரே சுரம் வித்தியாசமான தொனிகளாலோ அல்லது பியானோவினாலோ அல்லது வயலினாலோ இசைக்கப்படும் பொழுது, ஏன் வித்தியாசமாக ஒலிக்கிறது என்பதைப் புரிந்து கொள்ளத் தொடங்குகிறோம். இவையனைத்தும் தனித்த சுரத்தின் ஒலிகளே, ஆனால் இவை மேற்சுரங்களைப் பொறுத்தமட்டில் வித்தியாசமான இயல்பமைப்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவ்வியல்பமைப்புகளே ஒலிகளுக்கு அவற்றின் பிரத்யேக ஒலித்திரிபமைவைக் கொடுக்கின்றன. உதாரணமாக, படம் 120 (அ) மற்றும் (ஆ) வில் காட்டப்பட்டிருக்கும் இரு வரைபடங்களை ஒப்பிடவும். ஒரே சுரம், முறையே கிளாரினெட்டு, பெரிய பியானோ முதலியவற்றின் மூலமாக இசைக்கப்படும் பொழுது எழுந்த ஒலிகளின் பதிவீடுகளே இவையாகும். இவ்வொலிகளில் எதுவுமே எளிய சைன் அலையைச் சார்ந்த அதிர்வுகளாயிருப்பதில்லை. இரண்டினுமே அதிர்வுகளின் அடிப்படை அதிர்வெண்கள் சர்வ



படம் 120

சமமாயிருக்கின்றன. இதுவே சுரத்தின் தனித்தன்மையை உண்டாக்குகிறது. ஆனால் இரு வரைபடங்களும் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வித்தியாசமாயிருக்கின்றன. ஒலியின் தரம் எனப்படுவது யாது என்பதை இது காட்டுகிறது.

பெரிய பியானோவிலிருந்து வரும் C என்ற இசைமானம், புல்லாங்குழலிலிருந்து எழும் அதே இசைமானத்திலிருந்து வேறுபடுத்தும் காதின் திறன் ஒலியை அதன் இசைவுக் கூறுகளாக, அதாவது அடிப்படை இசைமானம், மேற்சுரங்கள் எனப் பிரிக்கப்படுதலை அடிப்படையாகக் கொண்டதாகும்.

காற்று இசைக் கருவிகளின் பலவகைகளில் புல்லாங்குழலும் ஒன்ருகும். இக்கருவிகளில் ஒரு குறிப்பிட்ட ஒலி நுட்பத்தையும் (tonality) பல்வேறு தரங்களேயும் கொண்ட ஒலிகளே உண்டாக்கும் அதிர்வுகள் யாவை? அவை காற்று ஸ்தம்பங்களின் அதிர்வுகளாகும்.

காற்று இசைக் கருவியை இசைக்கும் இசைக்கலேஞர் ஒருவர் பாடகர் ஒருவரைப்போல் மூச்சை மட்டும் இழுத்து விடுவதில்லே, ஆனுல் யாழ்வகையை இயக்குபவரைப்போன்று அவருடைய கைகளேயும் செயல்படுத்துகிருர். இவ்விசைக் கலேஞர் அவருடைய எக்காளத்தின் காற்று ஸ்தம்பத்தை அதிர்வுக்குட்படுத்துகிருர். ஆனுல் காற்று ஸ்தம்பத்தின் நீளத்தை மாற்றுவதனுலேயே ஒலியின் சுரம், தரம் ஆகியவை உண்டாக்கப்படுகின்றன. நரம்பைப்போன்றே எக்காளத்தில் அமைந்திருக்கும் காற்று ஸ்தம்பம் அதன் நீளத்தைப் பொறுத்து குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்களுடன் அதிர்வு செய்கிறது.

இயங்கும் இசைக்குழு

நெடுஞ்சாலேக்கு அருகில் மரத்தின் கீழ் நாம் இளேப்பாறிக் கொண்டிருக்கிருேம். இசைக் கருவிகளே இயக்கிய நிலேயிலிருக்கும் இசைக்குழுவைக் கொண்ட திறந்த வண்டி வேகமாகக் கடந்து செல்கிறது. அல்லது இதற்கு எதிரான சூழ்நிலேயில் நாட்டுப்புற விழா முழு மூச்சுடன் நடந்து கொண்டிருக்கும் கிராமத்தின் வழியே நாம் காரில் விரைவாகச் சென்று கொண்டிருக்கிருேம். இவ்விரு சூழ்நிலேகளிலுமே சில இசைத் தொடர்கள் நம் செவியை வந்தடைகின்றன. ''ஓட்டத்தின் போது'' கேட்கும் ஒலி மாறுதலடைவதில்லேயா?

முதலாவதாக இசைக்குழுவை நெருங்கிக் கொண்டிருக்கும் கார் ஓட்டுநரின் இசை உணர்வுகளேப் பற்றி நாம்

பரிசீலிப்போம். கார் ஒலி அலையை நோக்கிச் சென்று கொண்டிருந்தால், ஒரு விநாடியில் ஓட்டுநரின் காதை அடையும் காற்று அடர்த்திகளின் எண்ணிக்கை, கார் நிறுத்தப்பட்டிருக்கும் பொழுது, விவரது காதை அடையும் எண்ணிக்கையைவிட உண்மையில் அதிகமாகத்தான் இருக்கும்.

ஒலி அலையை விட்டுவிட்டு, ஓட்டுநரை நோக்கி ஓட்ட வீரர்களின் வரிசை ஓடிக் கொண்டிருக்கும் பொழுதும் சரியாக இச்சூழ்நிலையே நீடிக்கிறது. இந்த ஒப்புமை முழுமை பெற வேண்டுமானால் ஓட்டவீரர்கள் ஒருவருக்கொருவர் மாறாத இடைவெளியை ஏற்படுத்திக் கொண்டு (இதுவே அலை நீளமாகும்) மாறாத ஒரே வேகத்துடன் ஓடிக் கொண்டிருக்கிறார்கள் எனத் தற்கோள் கொள்ள வேண்டியது அவசியமாகிறது.

ஓட்டக்காரர்களை நோக்கிச் சென்று கொண்டிருக்கும் காரை ஒரு விநாடி நேரத்தில் கடந்து செல்லும் ஓட்டவீரர்களின் எண்ணிக்கை காரின் இயக்கத்தால் அதிகரிக்கிறது. ஓட்டவீரர்களுக்கும் காருக்கும் இடையேயான சார்பு வேகம் $c+u$ க்குச் சமமாயிருக்கிறது. ஒரு விநாடியில் காரைக் கடந்து செல்லும் ஓட்டவீரர்களின் எண்ணிக்கையும் சார்பு வேகம் அதிகரிக்கும் அதே மடங்கு அதிகரிக்கிறது.

ஆகவே இயக்கத்தில் ஈடுபட்டிருக்கும் காட்சிப்பதிவு செய்பவர் ஒருவரால் அளவிடப்பட்ட $\nu_{\text{இயக்கம்}}$ என்னும் அதிர்வெண் ஓய்வுநிலையிலிருக்கும் காட்சிப்பதிவு செய்பவரால் அளவிடப்பட்ட ν என்று குறிக்கப்படும் அதிர்வெண் ஆகியவற்றின் விகிதம், வேகங்களின் விகிதங்களுக்குச் சமமாயிருக்கிறது:

$$\frac{\nu_{\text{இயக்கம்}}}{\nu}=\frac{c+u}{c},$$

இதை $\nu_{\text{இயக்கம்}}=\nu\left(1+\frac{u}{c}\right)$

என இன்ெருரு வடிவிலும் எழுதலாம். நாம் தருவித்திருக்கிரேம் சூத்திரம் காட்டுவது போன்று காரும் இசைக்குழுவும் ஒன்றையொன்று நெருங்கும் பொழுது, ஒலியின் அதிர்வெண் அதிகரிக்கிறது. கார் 70 கி.மீ/மணி என்னும் வேகத்துடன் சென்று கொண்டிருந்தால் ஒலியின் அதிர்வெண் 6% அதிகரிக்கிறது.

கார், இசைக்குழுவிலிருந்து விலகிச் சென்று கொண்டிருந்தால், u என்ற வேகத்தின் குறியீடு எதிர்க்குறியீடாக மாற்றப்பட வேண்டும். இப்படிப்பட்ட சார்பு இயக்கத்தால், ஒலியின் அதிர்வெண் குறைக்கப்படுகிறது. இதனுல், கார் ஆசைக்குழுவை வேகமாகக் கடந்து செல்லும் பொழுது ஒலியின் அதிர்வெண் $2 \times 6 = 12\%$ மாற்றமடைகிறது. 100 ஹெர்ட்ஸ் அதிர்வெண் 106 அல்லது 94 ஹெர்ட்ஸ் அதிர்வெண்ணுக உணரப்படும். ஆனுல் கிட்டத்தட்ட இது பாதி சுரத்துக்குச் சமமான அதிர்வெண்ணின் மாற்றமாகும். இசைப் பயிற்சியை அதிக அளவில் பெற்றிருக்காத ஒருவர் இத்தகைய மாற்றத்தை உணர முடியும்.

$u = -c$ என்றிருந்தால், அதாவது ஒலியைக் கேட்டுக் கொண்டிருப்பவர் ஒலியின் வேகத்துடன் ஒலியின் தோற்றுவாயிலிருந்து விலகிச் சென்று கொண்டிருந்தால், $\nu_{\text{இயக்கம்}} = 0$, அதாவது அவர் ஒலியை உணர்வதில்லே. விலகிச் செல்லும் வேகம் ஒலியின் வேகத்தைவிட அதிகமாயிருந்தால், செவியுணர்நிலே தோன்றும். விலகிச் செல்லும் வேகத்தின் அதிகரிப்புடன் ஒலியின் வேகமும் வளர்ச்சியடைகிறது. சூத்திரத்தில் எதிர்குறியீடு தோன்றுகிறது. அதிர்வெண் நேர்க்குறியீடு கொண்ட கணியமாயிருப்பதால், இந்த எதிர்க்குறியீடு எவ்வித முக்கியத்துவம் கொண்டிருப்பதில்லே. ஆயினும் எதிர்க்குறியீடு தோன்றும் பொழுது, ஒரு விதக் கருத்துப்படி இதே இயற்பாடு எதிர்ப்பண்பைப் பெறுகி

றது. ஒலியின் வேகத்தைக் காட்டிலும் அதிக வேகத்துடன் விலகிச் செல்லும் பொழுது, கேட்டுக் கொண்டிருப்பவர் ஒலியைத் தொடர்ந்து கேட்டுக் கொண்டிருக்கிருர். முதலாவதாக, ஒரு விஞடிக்கு முன்னர் தோற்றுவாயிலிருந்து விடுபட்டுச் சென்ற ஒலியையும் பின்னர் இரு விஞடிகளுக்கு முன்னதாக விடுபட்டுச் சென்ற ஒலியையும் பின்னர் மூன்று, நான்கு... விஞடிகளுக்கு முன்னதாகத் தோற்றுவாயிலிருந்து விடுபட்டுச் சென்ற ஒலியையும் அவர் கேட்டுக் கொண்டிருக்கிருர். இவ்வாறு, எல்லா ஒலிகளும் எதிர் முறைமையில் கேட்கப்படும்.

அதிர்வெண்ணில் ஏற்படும் மாற்றத்தைக் குறிக்கும் பொதுவான சூத்திரத்தின் மீது நம் கவனத்தைத் திருப்புவோம். இசைக்குழு இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் சூழ்நிலையிலும் இதே சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த முடியுமா? சந்தேகத்துக்கிடமின்றி இதை உபயோகப்படுத்தலாம், ஆஞல் இதைச் சரியான முறையில் பயன்படுத்துதல் வேண்டும்.

காட்சிப்பதிவு செய்பவர் இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் பொழுது, நாம் தருவித்த சூத்திரத்தில் இரு அதிர்வெண்கள் இடம் பெற்றிருக்கின்றன. அவற்றில் ஒன்று ஊடகத்தில் ஒலியின் அதிர்வெண்ணுகும். இது ஓய்வுநிலையிலிருக்கும் கேட்பவர் ஒருவரால் உணரப்படும் ஒலியின் அதிர்வெண்ணுடன் அல்லது நிலையாயிருக்கும் கருவியிலிருந்து வெளிவரும் ஒலியின் அதிர்வெண்ணுடன் இயல்பாகவே ஒத்திருக்கிறது. மற்ருென்று, இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் பொருள் ஒரு விஞடியில் காற்றினுள் செலுத்தும் அதிர்வுகள் அல்லது காற்றிலிருந்து இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் பொருளுக்குள் வந்து சேரும் அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாயிருக்கும் $v_{\text{இயக்கம்}}$ என்னும் அதிர்வெண்ணுகும்.

ஆகவே முதல் உதாரணத்தில் ஊடகத்தின் அதிர்வெண்ணுகிய ν, இயக்கத்தால் ஏற்படும் அதிர்வெண்ணுகிய $\nu_{\text{இயக்கம்}}$ ஆகியவை முறையே வெளிச் செலுத்தப்படும் விதிர்வெண்ணுகவும் உட்பெறப்படும் அதிர்வெண்ணுகவும் அமைந்திருக்கும் பொழுது, இரண்டாவது உதாரணத்தில் இதற்கு மாருக உட்பெறப்படும் அதிர்வெண் ν என்றும் வெளிச் செலுத்தப்படும் அதிர்வெண் $\nu_{\text{இயக்கம்}}$ என்றும் ஆகின்றன.

கேட்பவர் ஒருவர் இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கையில் $\nu_{\text{காட்சி}} = \nu_{\text{தோற்றம்}}\left(1 + \frac{u}{c}\right)$.

ஒலியின் தோற்றுவாய் ஒன்று இயக்கத்துக்குட்படுத்தப் பட்டிருக்கையில் $\nu_{\text{காட்சி}} = \nu_{\text{தோற்றம்}}/(1 + u/c)$.

மேலும் முதல் உதாரணத்தில் வேகம் நேர்க் குறியீட்டைக் கொண்டிருந்தால், காட்சிப்பதிவு செய்பவர் ஒலியின் தோற்றுவாய் நெருங்கிக் கொண்டிருக்கிருர் என்பது அர்த்தமாகும். ஆனுல் இரண்டாவது உதாரணத்தில் வேகம் நேர்க் குறியீடு கொண்டிருந்தால், அவற்றிற்கிடையேயான தூரம் அதிகரிக்கிறது என்பது அர்த்தமாகும்.

இரண்டு சூத்திரங்களுமே வேகத்தினுல் ஏற்படும் அதிர்வெண்ணின் மாற்றத்துக்கு ஒத்த ஒழுங்கு முறைமையையே கொடுக்கின்றன என்பதை எளிதில் பார்க்க முடிகிறது. உதாரணமாக, $u/c = 0.2$ என்றிருந்தால், காட்சிப்பதிவு செய்பவர் ஒலியின் தோற்றுவாயை நெருங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, அதிர்வெண் 20% அதிகரிக்கிறது. தோற்றுவாய் காட்சிப்பதிவு செய்பவரை நோக்கி நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் பொழுது, அதிர்வெண் 25% அதிகரிக்கிறது.

நாம் இதுவரையிலும் ஒலி பரப்புகைத் திசையுடன் பொருந்தியிருக்கும் கோட்டின் மீதுதான் இசைக்குழுவும் ஒலியைக் கேட்பவரும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறார்கள் எனத் தற்கோள் கொண்டிருந்தோம். ஒலியைக் கேட்பவர் இசைக்குழுவை நோக்கிச் செல்லாமல் வேறொரு திசையில் அதைக் கடந்து சென்றால் என்ன மாறுதல்கள் நடைபெறும்? ஒலியின் பரப்புகைக் கோட்டின் திசையில் அமைந்திருக்கும் காரின் திசைவேகக் கூறு மட்டுமே முக்கியம் வாய்ந்ததாகும் என்பது தெளிவாகும். அலை முகத்தை நோக்கிய, அதாவது ஒலியின் பரப்புகைத் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் அமைந்திருக்கும் காட்சிப்பதிவு செய்பவரின் இயக்கம் எவ்விதப் பங்கும் எடுத்துக் கொள்வதில்லை.

இதே நிலைமை இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் இசைக்குழுவுக்கும் பொருந்துகிறது. சூத்திரங்களை இச்சூழ்நிலைக்குப் பயன்படுத்தும் பொழுது, சூத்திரத்தில் வரும் இயக்க வேகம், ஒலி அலையை உட்பெறும் தருணத்திலன்றி, அது வெளிச் செலுத்தப்படும் தருணத்தில் குறிக்கப்படல் வேண்டும் என்பதை நாம் மனதில் கொள்ள வேண்டும்.

ஒலியின் தோற்றுவாயும் காட்சிப்பதிவு செய்பவரும் காற்றுக்குச் சார்பாக இயக்கத்தில் ஈடுபட்டிருந்தால், இருசூத்திரங்களும் ஒன்றுசேர்க்கப்படுகின்றன. உணரப்பட்ட ஒலியின் அதிர்வெண் $\nu_{\text{காட்சி}} = (1 + u/c)/(1 - v/c)\, \nu_{\text{தோற்றம்}}$ என்ற சூத்திரத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. இதில் u என்பது காட்சிப்பதிவு செய்பவரின் வேகமாகவும் v என்பது ஒலியின் தோற்றுவாயின் வேகமாகவும் அமைந்திருக்கின்றன.

காட்சிப்பதிவு செய்பவரின் அல்லது ஒலியின் தோற்றுவாயின் இயக்கத்தால் விளையும் அதிர்வெண்ணின் மாறுதல் **டாப்ளர் விளைவு** என அழைக்கப்படுகிறது.

ஒலி ஆற்றல்

ஒலியை வெளிச் செலுத்தும் தோற்றுவாயைச் சுற்றி அமைந்திருக்கும் காற்றுத் துகள்கள் யாவும் அதிர்வு நிலையில் இருக்கின்றன. அத்தியாயம் ஐந்தில் நாம் விவரித்தது போன்று சைன் விதிக்குட்பட்டு அலைவு செய்யும் நிறைப் புள்ளி, திட்டமான மாறாத மொத்த ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கிறது.

அலைவு செய்து கொண்டிருக்கும் புள்ளி அதன் சமநிலையைக் கடந்து செல்லும் பொழுது, அதன் வேகம் பெருமமாக இருக்கிறது. இத்தருணத்தில் அப்புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சி பூச்சியமாக இருப்பதால், மொத்த ஆற்றலும் இயக்க ஆற்றலாகவே இருக்கிறது:

$$E = \frac{mv^2_{\text{பெருமம்}}}{2}.$$

இதன் விளைவாக, மொத்த ஆற்றல், அளைவு வேகத்தின் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

ஒலி அலையில் அதிர்வு செய்து கொண்டிருக்கும் காற்றுத் துகள்களுக்கும் இது உண்மையாயிருக்கிறது. ஆயினும், காற்றுத் துகள் என்பது திட்டவரையற்ற ஒன்றாகும். ஆகவே ஒலியின் ஆற்றல் கன அளவின் அலகாகக் குறிக்கப் படுகிறது. ஆற்றலின் இந்த அளவு ஒலி ஆற்றலின் அடர்த்தி என அழைக்கப்படுகிறது.

கன அளவின் அலகின் பொருண்மை ρ என்னும் அடர்த்தியாகக் கொண்டிருப்பதால், ஒலியாற்றலின் அடர்த்தி

$$\omega = \frac{\rho v^2_{\text{பெருமம்}}}{2} \text{ ஆகும்}$$

வேகத்தைப்போன்று அதே அதிர்வெண்ணுடன் சைன் விதிக்குட்பட்டு அலைவுறும் மற்றுமொரு முக்கியமான இயற்

பியல் கணியத்தைப் பற்றி நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக் கிறோம். இதுவே ஒலி அழுத்தம் அல்லது கூடுதல் அழுத் தம் எனப்படுகிறது. இந்த அளவுகள் ஒன்றுக்கொன்று நேர்விகிதத்தில் அமைந்திருப்பதால், ஆற்றலின் அடர்த்தி, ஒலியழுத்தத்தின் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக் கிறது என நாம் கூறலாம்.

அதிகச் சப்தமான உடையாடலின் போது எழும் ஒலி அதிர்வின் வீச்சு மதிப்புகள் மேலே கொடுக்கப்பட்டிருக்கின் றன. வேகத்தின் வீச்சு 0.02 செ.மீ/விநாடி க்குச் சமமாயிருந் தது. ஒரு கன செ.மீ காற்று கிட்டத்தட்ட 0.001 கி எடை யைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆகவே ஆற்றல் அடர்த்தி $0.5 \times 10^{-3} \times 0.02^2$ எர்க்/செ.மீ$^3 = 2 \times 10^{-7}$ எர்க்/செ.மீ^{3} க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

தோற்றுவாய் ஒலியை வெளிச் செலுத்திக் கொண்டிருப் பதாகத் தற்கோள் கொள்ளவும். இது சுற்றியிருக்கும் காற் றில் ஒலி ஆற்றலைச் செலுத்துகிறது. ஒலியை வெளிச் செலுத்தும் பொருளிலிருந்து ஆற்றல் வெளியில் ''பாய் வது'' போன்று தோன்றுகிறது. ஒரு விநாடியில் ஒலியின் பரப்புகைக் கோட்டுக்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்கும் தனிமப்பரப்பு ஒவ்வொன்றின் வழியாகவும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றல் வெளியில் பாய்கிறது. இக்கணியம் தனி மப்பரப்பின் வழியாகப் பாயும் **ஆற்றல் பாயம்** (energy flux) என அழைக்கப்படுகிறது. மேலும் தனிமப்பரப்பை ஒரு சதுர செ.மீ பரப்பளவுடையதாக நாம் எடுத்துக் கொண் டால், இதன் வழியாக வெளியில் பாய்ந்திருக்கும் ஆற்றலின் அளவு **ஒலி அலையின் செறிவு** என அழைக்கப்படுகிறது.

I எனக் குறிக்கப்படும் ஒலியின் செறிவு, ஆற்றல் அடர்த்தியாகிய ω, ஒலியின் வேகமாகிய *c* ஆகியவற்றின் பெருக்குத்தொகைக்குச் சமமாயிருக்கிறது என்பதைத் தெரிந்து கொள்ளுதல் கடினமல்ல. அச்சு, ஒலியின் பரப்பு

கைத் திசைக்கு இணையாக இருக்கும்படியாக அமைந்திருக்கும் 1 செ.மீ உயரமும் 1 செ.மீ^{2} அடிப்பக்கப் பரப்பையும் கொண்ட உருளையைக் கற்பனை செய்யவும். இத்தகைய உருளையினுள் அடைபட்டிருக்கும் ஆற்றலாகிய ω, $1/c$ என்னும் நேரத்திற்குள் முழுவதுமாக இவ்வுருளையை விட்டுச் சென்றுவிடும். ஆகவே ஒரு விநாடியில் ஒரு அலகு பரப்பின் வழியே $\omega/(1/c) = \omega c$ என்னும் ஆற்றல் கடந்து செல்கிறது. ஆற்றலும் ஒலியின் வேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருப்பது போன்று தோன்றுகிறது.

உரத்த உடையாடலின் போது பேசுகிறவர்களின் அருகில் ஒலியின் செறிவு கிட்டத்தட்ட (மேலே கிடைக்கப் பெற்ற எண்ணை நாம் இங்கு உபயோகிக்கிறோம்) $2 \times 10^{-7} \times 3 \times 10^4 = 0.006$ எர்க்/செ.மீ^{2}. விநாடிக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

தூரத்தைப் பொறுத்து ஒலி தளர்ச்சியடைதல்

ஒலியை வெளிச் செலுத்தும் கருவியிலிருந்து ஒலி அலை எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்பப்படுகிறது.

ஒலியின் தோற்றுவாயை மையமாகக் கொண்ட, வித்தியாசமான ஆரங்களையுடைய இரு கோளங்களைக் கொள்கை ரீதியாக நாம் அமைப்போம். முதல் கோளத்தின் வழியே கடந்து செல்லும் ஒலி ஆற்றல் இரண்டாவது கோளத்தின் பரப்பு வழியாகவும் கடந்து செல்கிறது. ஒலியின் செறிவை நாம் I எனக் குறித்தால், கோளத்தின் வழியே கடந்து செல்லும் ஒலியின் ஆற்றலைக் கீழ்வருமாறு எழுதலாம்: $4\pi r^2 \cdot I$ ஏனெனில் r என்ற ஆரத்தையுடைய கோளத்தின் புறப்பரப்பளவு $4\pi r^2$ ஆகும். முதல் கோளத்திலிருந்து இரண்டாவது கோளத்தை அடையும் பொழுது, வழியில் ஆற்றல் எதுவும் இழக்கப்படவில்லையானால், $4\pi r_1^2 \cdot I^1 = 4\pi r_2^2 \cdot I_2$ ஆகும்.

ஆகவே ஒலித் தோற்றுவாயிலிருந்து r_1, r_2 ஆகிய தூரங்களில் அமைந்திருக்கும் அலையின் செறிவுகளாகிய I_1, I_2 முறையே இத்தூரங்களின் இருமடிகளுக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கின்றன. ஒலியின் செறிவு, ஆற்றலின் அடர்த்திக்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால், ஆற்றலின் அடர்த்தியைப் போலவே செறிவும் அதிர்வின் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. ஒலியின் தோற்றுவாயிலிருந்து r_1, r_2 ஆகிய தூரங்களில் அமைந்திருக்கும் அலையின் வீச்சுகள் இத்தூரங்களுக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கின்றன என்பது இதிலிருந்தும் தெரியவருகிறது. ஒலியின் செறிவு தோற்றுவாயிலிருந்து அது நிலைபெற்றிருக்கும் தூரத்துக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கிறது.ஒலியின் வீச்சு, தூரத்தின் முதல் மடிக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கிறது. ஆனால் வழியிலேயே ஆற்றலின் பகுதி அழிக்கப்படுவதால், உண்மையில் இதைவிட வேகமாகவே ஒலி தளர்வடைகிறது. ஊடகத்தின் துகள்கள் அதிர்வு செய்து கொண்டிருக்கும் பொழுது, ஆற்றலின் குறிப்பிட்ட பகுதி, பிசிற உராய்வை விஞ்சி மேம்படுவதற்காகப் பயன்படுத்தப்படுவதால் இவ்வாறு நிகழ்கிறது. ஆயினும் இந்த இழப்புகள் சார்பாக நோக்கும் பொழுது, அளவில் குறைந்தவைகளாய் இருக்கின்றன. ஒலித் தோற்றுவாயின் அருகில் இருப்பதைக் காட்டிலும் அதிகத் தூரத்தில் ஒலி நன்குக் கேட்கப்படாமைக்குக் காரணம் தலைகீழ் இருமடி விதியேயாகும்.

இரைச்சலும் அமைதியும்

மனித உணர் உறுப்புகள் மிகச் சிறந்த உணரும் கருவிகளைக் காட்டிலும் அதிகத் துல்லியம் வாய்ந்தவைகளாய் இருக்கின்றன. குறிப்பாகச் செவியைப் பொறுத்தமட்டில் இது உண்மையாயிருக்கிறது. 10^{-9} லிருந்து 10^{4} எர்க்/செ.மீ^{2}·

விஞடி வரையிலான செறிவுகளைக் கொண்ட ஒலி அலைகளை நாம் உணர முடிகிறது. ஆகவே மிகப் பலமான ஒலி மிகத் தளர்ந்த ஒலியைக் காட்டிலும் 10^{13} மடங்குகள் வித்தியா சப்படுகிறது.

ஆனால் மனிதனால் உணர முடிந்த மிகத் தளர்ந்த ஒலி யாது? செவியால் மிகவும் அரிதாகவே உணரப்படும் சருகின் சலசலப்பொலி, உட்செவியுறுப்பில் 2×10^{-4} டைன்/செ. மீ^{2}, அதாவது ஏறக்குறைய ஒரு கிராமில் பத்து மில்லி யனில் ஒரு பகுதி அளவுள்ள அழுத்தத்தை உண்டாக்குகி றது. மிகச்சிறந்த நுண்தராசுகள், மனித செவியைப்போன்று அவ்வளவு உணர்வுடையவை அல்ல.

ஒலி, 10^4 எர்க்/செ.மீ^{2}·விஞடி ஐவிட அதிக ஆற்றலைக் கொண்டிருந்தால், அவ்வொலியையும் நாம் கேட்க முடிவ தில்லை, ஆனால் இதற்குப் பதிலாக வலியைத் தரும் உணர்வை நாம் அநுபவிக்கிறோம். இத்தகைய சூழ்நிலையில் உட்செவி உறுப்பின் மீது செயல்படும் அழுத்தம் 0.2 கி.கி.வி/செ.மீ^{2} ஐ எட்டுகிறது. சரியாகக் கூறினால் இந்த அழுத்த அலையே, அதாவது சுருக்கம், அடர்த்தி குறைதல் முதலியவற்றைக் கொண்ட வேகமாக மாறும் இயல்புகளையுடைய துடிப்ப திர்வுகளே காதில் வலியை ஏற்படுத்துகின்றன. ஆனால் மாறி லியாய் இருக்கும் காற்றழுத்தம் இந்த அளவுக்கு, அதாவது 0.2 கி.வி/செ.மீ^{2} அதிகரிக்கும் பொழுது, இவ்வித்தியாச த்தை நம் காது உணர்வதில்லை. நாம் இரண்டாவது மாடியிலிருந்து தெருவில் இறங்கும் பொழுது, கிட்டத்தட்ட 1 கி.கி.வி/செ.மீ^{2} க்குச் சமமாயிருக்கும் வளியழுத்தம் 0.2 கி.வி/செ.மீ^{2} அதிகரிக்கிறது.

பலமான ஒலியைத் தாங்கிச் செல்லும் அலையின் ஆற் றல், கிசுகிசுப்பு அல்லது சலசலப்பு ஒலியை நம்மிடம் கொண்டு வந்து சேர்க்கும் அலையின் ஆற்றலைவிட எண்ணி டங்காத பன்மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கிறது. ஆகவே

நடைமுறையில் ஒலியின் இரைச்சலை அதன் ஆற்றலால் மதிப் பிடுவது நாம் ஏற்றுக் கொள்ளக் கூடியதாக இல்லை. தெருவில் சென்று கொண்டிருக்கும் கார்களை ட்ராலி பேருந் துகள் அல்லது பேருந்துகளால் பதிலீடு செய்வது, தெரு வில் செல்லும் பொழுது, எச்சரிக்கை ஒலியை உபயோகப்ப தினின்றும் ஓட்டுநர்களைத் தடுப்பது, இன்னும் இது போன்ற இதர நிபந்தனைகளைக் கடைப்பிடித்தால் தெருக்க ளில் உண்டாக்கப்படும் இரைச்சலின் அளவு எவ்வளவு குறைக்கப்படுகிறது என்பதைக் குறிப்பிட்டு, தெருக்களில் இரைச்சலைக் குறைப்பதற்கான வழிவகைகளைக் கண்டுபிடி க்க முயற்சி செய்யும் அலுவலர் மாநகர் மன்றத்தின் கூட்டத் தொடரில் பேருரை ஆற்றுவதாகக் கற்பனை செய் யவும். இக்கருத்துக்கள் கேட்பவர்களின் மனதில் நன்கு பதிய வேண்டுமானால், விளம்பரத் தட்டிகளைப் பயன்படுத்த வேண்டியது அவசியமாகிறது. பலதரப்பட்ட விளக்கப்படங் களை வரையும் பொழுது, வழக்கில் இருப்பது போன்று ஸ்தம் பங்களின் உயரங்கள் இரைச்சலின் அளவுகளைக் குறித்துக் காட்டும்படி விளம்பரத்தட்டியில் நாம் ஸ்தம்பங்களை வரைய முடிகிறது. ஆனால் ஒலியின் இரைச்சலை ஆற்றலின் மூலம் நாம் வரையறுத்தால், சமாளிக்க முடியாத சிக்கல் எழுகிறது: யானை, ஈ ஆகியவற்றின் முழு உருவங்களை ஒரே விளக்கப்படத்தில் ஒரே அளவு முறையில் குறித்துக் கா ட்டுவதைக் காட்டிலும் இரைச்சலான ஒலியையும் அமைதியான ஒலியையும் ஒரே அளவு முறையில் குறித்துக் காட்டுவது அதிகக் கடினமாயிருக்கும் அளவுக்கு இவ்விரு வகையான ஒலிகளும் பெரிதும் வேறுபட்டிருக்கின்றன.

இயற்பியலில் இத்தகைய நிலைமை தோன்றும் பொ ழுது, லாகரித அளவு முறையைப் பயன்படுத்திச் சிக் கலிலிருந்து நம்மை விடுவித்துக் கொள்கிறோம்.

சில எண்மதிப்புகள், 10, 100, 1000..ன் மடங்குக

ளில் அதிகரித்தால், இவற்றின் லாகரிதம் 1, 2, 3...ன் மடங்குகளில்தான் அதிகரிக்கிறது. ஆகவே ஒலி அலையின் ஆற்றலுக்குப் பதிலாக இம்மதிப்பின் லாகரிதத்தை நாம் உபயோகித்தால், ஆகாய விமான இயந்திரத்தின் இரைச்சலையும் கொசுவின் முனங்கொலியையும் ஒரே விளம்பரப்படத்தில் நாம் குறித்துக் காட்ட முடியும்.

இரைச்சலை அளப்பதற்குப் பயன்படும் அளவு முறை கீழ்வரும் முறையில் தயாரிக்கப்படுகிறது. நடைமுறை மரபுப்படி, 10^{-9} எர்க்/செ.மீ^{2} · விநாடிக்குச் சமமான இரைச்சல் பூச்சிய திட்டவரையாகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வளவு பலமுள்ள ஒலிகளை மிகச் சிறந்த உணருந்தன்மையைக் கொண்ட காதை உடையவர்களால் கூடக் கேட்க முடியாது. நாம் கணிக்க விரும்புகிற ஒலியின் ஆற்றலாகிய E, இந்த ஆரம்ப மட்டமாகிய E_0 ஐக் காட்டிலும் எத்தனை மடங்குகள் பெரியதாயிருக்கிறது என்பதை, அதாவது E/E_0 என்ற விகிதத்தை நாம் தீர்மானிக்க முடியும்.

இவ்விகிதத்தின் பொது லாகரிதமே ஒலியின் இரைச்சலின் அளவாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. இரைச்சலின் அலகு பெல் (bel) என்ற பெயரால் அழைக்கப்படுகிறது. பெல்லில் பத்தில் ஒரு பகுதி டெசிபெல் (dB) என்றழைக்கப்படுகிறது. இந்த அலகையே நடைமுறையில் நாம் அதிகமாகப் பயன்படுத்துகிறோம். டெசிபெல்லில் குறிக்கப்படும்பொழுது, இரைச்சல் 10 லாக (E/E_0) க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

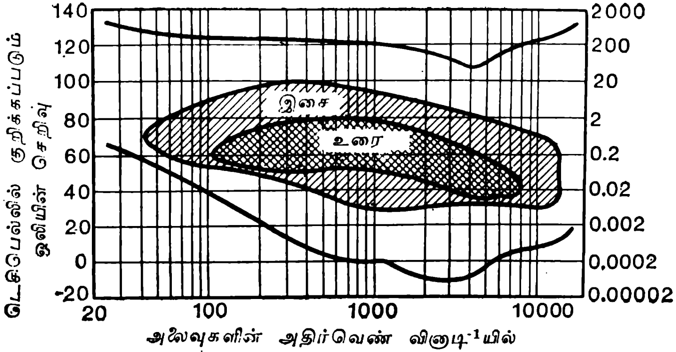
தோற்றுவாய்களிலிருந்து சில மீட்டர்கள் தூரத்தில் கேட்கப்படும் பலதரப்பட்ட ஒலிகளின் இரைச்சல் மதிப்புகளை (dB)க் குறித்துக் காட்டும் கீழ்வரும் அட்டவணையை அடிப்படையாகக் கொண்டு, ஒரு டெசிபெல் என்றால் என்ன என்பதை நாம் ஊகிக்க முடிகிறது:

இலைகளின் சலசலப்பு	10
அமைதியான தெரு	30
கடந்து செல்லும் மோட்டர் வண்டி	50
உரத்த உரையாடல்	70
இரைச்சலான தெரு	90
ஆகாய விமானம்	100

டெசிபெல்களைப் பற்றித் தெளிவாகப் புரிந்து கொள்வதற்கு லாகரித அட்டவணை நமக்கு உதவுகிறது. இவ்வாறு, 1 டெ.பெ அளவுக்கு ஒலியின் பலத்தில் ஏற்படும் அதிகரிப்பு, $10^{0.1}=1.26$, அதாவது 26% செறிவின் அதிகரிப்புக்கு ஒத்ததாய் இருக்கிறது. ஒலியின் செறிவு இரு மடங்கு அதிகரித்தால், அதன் இரைச்சல் 3 டெ.பெ அளவும் செறிவு 5 மடங்கு அதிகரித்தால், இரைச்சல் 7 டெ.பெ அளவும் செறிவு 10 மடங்கு அதிகரித்தால், இரைச்சல் 10 டெ.பெ அளவும் அதிகரிக்கிறது.

ஒலியின் தோற்றுவாயிலிருந்து கணக்கிடப்படும் தூரம் இரட்டிக்கப்பட்டால், ஒலியின் செறிவு 4 மடங்கு வீழ்ச்சியடைந்து, அதன் பலம் 6 டெ.பெ குறைகிறது. அதிர்வுறும் கம்பியிலிருந்து 1 மீட்டர் தூரத்தில் இருந்த ஒருவன் பின்னர் 10 மீட்டர் தூரத்துக்குச் சென்று விட்டதாக வைத்துக் கொள்வோம். அவனுடைய காதுகளை அடையும் அலைகளின் செறிவு முன்பு இருந்ததைவிட 100 மடங்குகள் குறையும் பொழுது, ஒலியின் பலம் 20 டெ.பெ குறைந்திருக்கிறது.

செவியுணர் ஒலிகளின் அதிர்வெண்கள் வரம்புக்குட்பட்டவை என்பதை நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிந்தோம். இச் செய்தியுடன் அமைதியான ஒலிகளையும் இரைச்சலான ஒலிகளையும் பொறுத்தமட்டில் நம் காதின் உணருந்தன்மை எவ்வாறு இருக்கிறது என்பதைப் பற்றிய, நம் அறிவையும்



படம் 121

சேர்த்து, இயல்பான செவியுணர் திறன் கொண்ட ஒருவரின் செவியுணர் பரப்பளவைக் குறிக்கும் விளக்கப்படத்தின் மூலமாக நாம் இவற்றை விவரிக்க முடிகிறது (படம் 121). இவ்வரைபடத்தின் கிடையச்சின் மீது ஒலியின் அதிர்வெண்ணும் நிலைக்குத்து அச்சின் மீது ஒலியின் ஆற்றலும் குறிக்கப்படிருக்கின்றன. செவியுணர்வு வாயிலும் வலி உணர்வு வாயிலும் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. செவியுணர் பரப்பு இவ்விரு வளைகோடுகளுக்கிடையில் அமைந்திருக்கிறது.

செவியுணரா ஒலிகள்

ஊடகத்தின் எந்திரவியல் அதிர்வுகளில் 20000 ஹெர்ட்ஸ் என்ற ஒலி அதிர்வெண்ணைவிட அதிகமான அதிர்வெண்ணைக் கொண்ட அதிர்வுகளை மனிதனின் காது உணர முடிவதில்லை. உயர்ந்த அதிர்வெண்ணுடன் கூடிய அதிர்வுகளைப் பல வழிகளில் உண்டாக்க முடிகிறது. மனிதன் அவற்றை உணர முடிவதில்லை. ஆனால் கருவிகள் அவற்றைப் பதிவு செய்ய

முடியும். ஆனால் கருவிகள் மட்டுமே அவற்றைப் பதிவு செய்ய முடியும் என்பதும் உண்மையல்ல. வௌவால், தேனீக்கள், திமிங்கலங்கள், கடற்பன்றிகள் போன்ற மிருகங்கள் (இது உயிர் வாழ்வனவற்றின் கனபரிமாணங்களைப் பொறுத்ததல்ல என்பதைப் பார்க்கலாம்) **100.000** ஹெர்ட்ஸ் வரையிலுமான அதிர்வெண்களுடன் கூடிய எந்திரவியல் அதிர்வுகளை உணரும் இயல்புடையனவாயிருக்கின்றன.

தற்பொழுது நாம் 1 பில்லியன் ஹெர்ட்ஸ் வரையிலுமான அதிர்வெண்களுடன் கூடிய அதிர்வுகளை உண்டாக்க முடிகிறது. இத்தகைய அதிர்வுகள் செவியால் உணரப்படாவிட்டாலும் ஒலிகளின் மீது இவ்வலைகள் கொண்டிருக்கும் தொடர்பைக் குறிக்கும் வகையில் இவை மேல் ஒலி (supersonic or ultrasonic) அல்லது செவியுணரா ஒலி என அழைக்கப்படுகின்றன.

பெரும அதிர்வெண்ணுடன் கூடிய மேல் ஒலிகள், குவார்ட்ஸ் தகடுகளின் உதவியால் உண்டாக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய தகடுகள் குவார்ட்ஸின் ஒற்றைப் படிகங்களிலிருந்தும் வெட்டியெடுக்கப்படுகின்றன. அவை கீழ்வரும் முக்கியமான பண்பைப் பெற்றிருக்கின்றன: இப்படிப்பட்ட தகடு ஒன்று மின்னழுத்தத்துக்குட்படுத்தப்பட்டால், அது சுருங்குகிறது அல்லது விரிவடைகிறது. ஆனால் இப்படிப்பட்ட தகடு மாறியல் மின்னழுத்தத்துக்கு (alternating voltage) உட்படுத்தப்பட்டால், அது திரும்பத் திரும்பச் சுருங்கி, விரிவடைகிறது, அதாவது அது அதிரத் தொடங்குகிறது.

ஒரு வினாடிக்கு, ஒரு சதுர சென்டிமீட்டருக்குச் சில ஆயிரம் ஜூல்கள் என்னும் அளவிலான செறிவைக் கொண்ட மேல் ஒலிகளின் பலமான ஓட்டங்கள் இம்முறையில் வெற்றிகரமாக உண்டாக்கப்படுகின்றன. இந்த எண்ணுடன்

செவியுனர் ஒலியின் செறிவை ஒப்பிட்டுப் பார்ப்போம். இயக்கப்படும் துப்பாக்கிக்கு மிக அருகாமையிலேயே, ஒலியின் செறிவு 0.005 ஜுல்/செ.மீ^{2}·விஞடியில் என்ற அளவையே எட்டுகிறது.

மேல் ஒலியின் ஆற்றல் நாம் உடலால் உணரும் அளவுக்கு மிக அதிகமானதாக இருக்கிறது. மேல் ஒலியின் அதிர்வுகளுக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் திரவத்தினுள் நம் கையை மூழ்குவித்தால், நாம் கூறிய வலியை உணர்கிறோம்.

மேல் ஒலிகள், பொருட்களில் முக்கியமான மாற்றங்களை ஏற்படுத்தும் திறன் உடையவையாதலால், அவை பல்வேறு துறைகளிலும் மிகப் பரவலாகப் பயன்படுகின்றன. பொருளை நொறுக்குவது இத்தகைய மாற்றங்களில் ஒன்றாகும். மேல் ஒலியின் செயலாற்றலுக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் திரவத்தினுள் ஈயத் துண்டு அல்லது தாமிரத் துண்டு வைக்கப்பட்டால் உலோகம் நொறுங்கி மிக நுண்ணிய தொங்கும் கலவை உண்டாகிறது. துகளின் பரிமாணங்கள் அலை நீளத்தைக் காட்டிலும் பெரியதாக இருக்கும் பட்சத்தில் மட்டுமே பொடியாக்கும் செயல் தொடர்கிறது.

பொருளின் துகள்கள் சிறியனவாகயிருந்தால், மேல் ஒலியின் செயலாற்றல் எதிர்விளைவை ஏற்படுத்துகிறது. புகை நிறைந்திருக்கும் அறையை மேல் ஒலியின் செயலாற்றலுக்குட்படுத்திஞல், வேகமாகவும் முழுவதுமாகவும் காற்றைச் சுத்தப்படுத்த முடிகிறது. மேல் ஒலியின் செயலாற்றலிஞல் புகைத் துகள்கள் ஒன்றோடொன்று ஒட்டிக் கொண்டு இவ்வியற்பாடு பத்து, நூறு மடங்குகள் அதிகக் கனமானவைகளாகி, தரையில் தங்கிவிடுகின்றன என்பது தெரியவருகிறது (இவ்வியற்பாடுதான் உறைதல் (coagulation) என அழைக்கப்பறுகிறது).

உயிரியல் பொருட்களின் மீதான, மேல் ஒலியின் செயலாற்றல் மிகவும் முக்கியம் வாய்ந்ததாகும். குறிப்பாக நூல்

போன்ற அமைப்பைக் கொண்ட பல ஜீவ அணுக்கள், மேல் ஒலியின் செயலாற்றலினுல் சிதறுகின்றன. பாக்டீரியாக்கள் இறந்துவிடுகின்றன அல்லது முக்கிய மாறுதல்களை அடைகின்றன. மேல் ஒலிகளின் மூலம் பாலில் நோய் நுண்மத் தீர்வு செய்ய (sterilize) முடிகிறது.

அதிகத் தடிப்புடைய (பத்து மீட்டர்களின் மடங்குகள் வரையிலும்) உலோகவார்ப்புகளில் அமைந்திருக்கும் கீறல்கள் மற்றும் ஏனைய குறைபாடுகளைக் கண்டுபிடிப்பதில் இவ்வொலிகள் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. மேல் ஒலிக் கதிரின் பாதையில் கீறலோ அல்லது சிறு குழியோ அமைந்திருந்தால், இதன் வழியே அக்கதிர் கடந்து செல்லாமல் எதிர்த் திசையில் பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. இப்பிரதிபலிப்பு கருவியால் பதிவு செய்யப்படுகிறது. மேல் ஒலி, குறைபாட்டை அடைவதற்கும் அதிலிருந்து திரும்பி வருவதற்கும் எடுத்துக் கொண்ட மொத்த நேர இடைவெளியின் அடிப்படையில் குறைபாடு அமையப்பெற்றிருக்கும் ஆழம் கணிக்கப்படுகிறது.

வௌவால்கள் முக்கியமான விதத்தில் மேல் ஒலியை உபயோகப்படுத்திக் கொள்கின்றன. வௌவால் முழு இருட்டில் வசிப்பதற்குத் தகுந்தாற்போன்று மிகச் சிறந்த எதிரொலி உண்டாக்கும் உறுப்பு ஒன்றை இயற்கையே வௌவாலுக்கு அளித்திருக்கிறது. இது செவியுணரா ஒலி அதிர்வெண்களில் செயல்படுகிறது. பறக்கும் பொழுது, மனிதனின் காது உணர இயலாத, 25000—50000 ஹெர்ட்ஸ் என்ற அளவிலான அதிர்வெண்களைக் கொண்ட சைகைகளை வௌவால் வெளிச் செலுத்துகிறது. ஒவ்வொரு சைகையும் ஒரு விநாடியில் ஆயிரம் பகுதிகளில் கிட்டத்தட்ட 10—15 பகுதிகள் அளவு நேரமே நீடித்திருக்கிறது. வௌவால் அதன் உடலுக்குச் சார்பாகக் குறிப்பிட்ட திசையில் அனுப்பிய செவியுணரா சைகை, தடை மீது விழுந்து அதிலிருந்து பிரதிபலிக்

கப்பட்டு, பின்னர் வெளவாலை நோக்கித் திரும்புகிறது. ஆரம்பத்தில் அனுப்பப்பட்ட சைகையைக் காட்டிலும் பிரதி பலிக்கப்பட்ட சைகை இரு ஆயிரம் மடங்குகள் தளர்ந்து இருந்தாலும் கூட, பிரதிபலிக்கப்பட்ட சைகையை வெள வால் உணரும் அளவுக்கு அதன் கேட்கும் உறுப்புகள் சிறந்த முறையில் செயல்படுகின்றன. மேலும் வெளவால் அனுப்பிய சைகையின் எதிரொலியைக் காட்டிலும் தொடர் பற்ற இரைச்சல் ஆயிரம் மடங்குகள் பலமானதாக இருந் தாலும் கூட, வெளவால் இத்தொடர்பற்ற இரைச்சலிலி ருந்து அது அனுப்பிப் பிரதிபலிக்கப்பட்டுத் திரும்பிய சைகையை வேறுபடுத்தி உணர முடிகிறது. சைகை வெளிச் செலுத்தப்பட்ட நேரத்திற்கும் அது திரும்பி வந்து சேரும் நேரத்திற்கும் இடைப்பட்ட நேர இடைவெளியின் அடி ப்படையில் தான் இருக்கும் இடத்திலிருந்து தடை எவ்வளவு தூரத்திலிருக்கிறது என்பதை வெளவால் தீர்மானித்துவிடு கிறது (உண்மையில் உணர்ச்சி பூர்வமாகத்தான்).

ஒலி ஒரு தடையைச் சுற்றி எவ்வாறு வளைகிறது

இரண்டாவது மாடியில் அமைந்திருக்கும் அறையில் அமர்ந்து நாம் பேசிக் கொண்டிருக்கிறோம். அறையில் பல கணி திறந்திருக்கிறது. நமது நண்பர் ஒருவர் பலகணிக்கு நேராகக் கீழே தெருவில் நின்று கொண்டிருக்கிறார். நமது உரையாடலை அவர் கேட்க இயலுமா? ஆம், நாம் போது மான அளவு உரக்கப் பேசினால், அவரால் அதைக் கேட்க முடிகிறது; ஆனாலும் ஏணி ஒன்றின் மேல் ஏறி, பலகணி யை நோக்கி நின்று கொண்டு கேட்பதைக் காட்டிலும் மிக மெல்லிய ஒலியை அவர் கேட்கிறார். பலகணியிலிருந்து வெளிவரும் ஒலி அலைகள் ஓரளவு வெறுப்புடனேயே எல் லாத் திசைகளிலும் பரவிக் கொண்டிருக்கின்றன என்பது

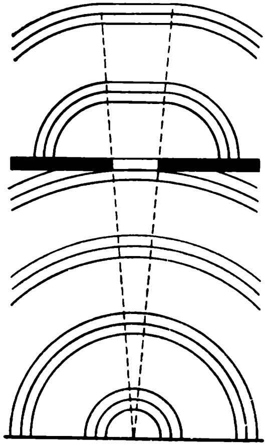
போன்று தெரிகிறது. அலைகள் நேர்கோட்டுப் பாதையில் முன்னேக்கி நன்கு பரப்பப்படுகின்றன என்பதை இது காட்டுகிறது. ஆனால் ஓரளவுக்குப் பக்கவாட்டுகளிலும் விலக்கப்படுகின்றன. எந்த ஒலி அலையாயினும் இது உண்மையாயிருக்கிறதா? இல்லை எனத் தெரியவருகிறது.

அலை நீளத்துக்கும் செல்வாயின் பரிமாணங்களுக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் தொடர்பு இதில் முக்கிய பங்காற்றுகிறது. இப்பரிமாணங்களை ஒப்பிடும் பொழுது அலை நீளம் அதிக நீளமானதாக இருந்தால், அலை இச்செல்வாயின் வழியே வெளிச் செல்லும் பொழுது, இத்திறப்பே ஒலியின் தோற்றுவாக அமைந்திருப்பது போன்று அவ்வலை எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுகிறது. இதற்கு மாறாக, செல்வாயின் பரிமாணங்களைக் காட்டிலும் அலை நீளம் மிகச் சிறியதாக இருந்தால், ஒலி, கதிர்களின் மூலமாகப் பரப்பப்படுகிறது. ஒலியின் தோற்றுவாயிலிருந்து காட்சிப் பதிவு செய்பவருக்கு வரையப்பட்ட நேர்கோடு, தடையை (நமது உதாரணத்தில் ஒரு சுவர்) சந்திக்கும் இடத்தில் ''நிழல்'' தோன்றுகிறது: ஒலியைப் பெரும்பாலும் கேட்க முடிவதில்லை.

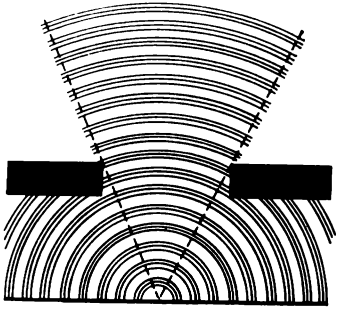
நம் உதாரணத்தில் 30 செ.மீ என்னும் அலை நீளம் 1000 ஹெர்ட்ஸ்க்கு உரியதாக இருக்கிறது. இதுவே மனிதன் பேசும் ஒலியின் சராசரி அதிர்வெண்ணாகும். ஆகவே ஒரு மீட்டர் விசாலமான பலகணித் திறப்பின் வழியே இத்தகைய அலைகள் நன்கு பரப்பப்படுகின்றன. ஆனால் இவ்வலைகள் கவனிக்கத்தக்க அளவுக்குச் சாய்வாகவும் விலக்கப்படுகின்றன.

தடையைச் சுற்றி ஒலி அலைகள் வளைந்து செல்வதைப் படத்தின் மூலம் விளக்கிக் கூறுவது மிகக் கடினமானதாக இருக்கிறது.

இதனை ஒத்த சூழ்நிலையில் தண்ணீரில் தோன்றும் பரப்பு அலைகள் எவ்வாறு செயல்படுகின்றன என்பதை விளக்கிக்



படம் 122



படம் 123

கூறுவது மிகவும் எளிதானதாகும். இவ்வலைகளைப் பற்றிச் சற்றுப் பின்னர் பார்ப்போம். இத்தகைய அலைகள் சிறிது வித்தியாசமான பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. ஆயினும் தடையைச் சுற்றி அலைகள் வளைவு அடைவதைக் கட்டுப்படுத்தும் விதிகளைப் பொறுத்தமட்டில் நீரலைகளுக்கும் காற்றில் பரவும் ஒலி அலைகளுக்கும் அவை சர்வசமமாகப் பொருந்துகின்றன.

ஏதாவது திறப்பின் வழியே மாறுபட்ட அலை நீளங்களைக் கொண்ட நீரலைகள் கடந்து செல்வதைப் படங்கள் 122ம் 123ம் விவரிக்கின்றன. படம் 122 யில் திறப்பின் பரிமாணத்தைக் காட்டிலும் அலை நீளம் மிகவும் பெரியதாயிருக்கிறது. இச்சூழ்நிலையில் பெரும்பாலும் திரைக்குப் பின்னால் அமைந்திருக்கும் பகுதி முழுவதையும் அலை சென்றடைகிறது. குறைந்த அலை நீளம் கொண்ட அலை, படம்

123ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இப்பொழுது அலை பரப்புகை, கதிர்களின் மூலம் நடைபெறுகிறது. அலை, வடிவ நிழற்பகுதியில் மிக அரிதாகவே நுழைகிறது.

ஆகவே ஒலி அலைகள் அவை மோதும் பொருட்களின் பரிமாணங்களைவிட மிகக் குறைந்த அலை நீளங்களைக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, காற்றில் நிகழும் அதிர்வுகளைப்போலன்றிக் காற்றின் வழியே கடந்து சென்று கொண்டிருக்கும் துகள்கள் ஓட்டத்தைப்போன்று ஒலி செயல்படுகிறது. இத்துகள்களுக்கும் சாதாரண பொருட்களின் துகள்களுக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் முக்கிய வேறுபாடு கீழ்வரும் உண்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கிறது: சாதாரண பொருட்களின் துகள்கள் எதேச்சையான வேகங்களுடன் இயங்க முடியும்; ஆனால் ஒலி எப்பொழுதும் ஒரே வேகத்துடனேயே பரப்பப்படுகிறது.

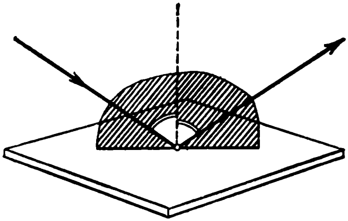
ஒலி எப்பொழுதும் நேர்கோட்டுப் பரப்புகையிலிருந்தும் விலக்கப்படுகிறது என்ற உண்மையின் வடிவத்தில் ஒலியின் அலைத்தன்மை வெளிப்படுகிறது. நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருப்பது போன்று அலை நீளம் சிறியதாக இருந்தால், விலக்கமும் குறைவாகவே இருக்கிறது; ஆனால் எச்சூழ்நிலையிலும் இவ்விலக்கம் நிலைபெற்றிருக்கிறது; கொள்கை ரீதியாக இவ்விலக்கம் விளக்கப்பட முடியும். இவ்விலக்கமே **ஒலியின் பகுக்கம்** (diffraction) என அழைக்கப்படுகிறது. ஒலி, அலை இயக்கமாகும் என்ற உண்மையை நாம் நேரடியாகக் கண்டிருக்காவிட்டால் (ஒலியைப் பெறும் முறையிலிருந்து) பகுக்கம் நிலைபெற்றிருத்தலே இவ்வுண்மையின் நிரூபணமாகப் பயன்பட்டிருக்க முடியும். மேலும் ஒலியின் தோற்றுவாயின் அதிர்வெண்ணை அடிப்படையாகக் கொண்டு ஒலி அலைகளின் அலை நீளத்தை, நாம் அறிந்திருக்காமலிருந்தால், இந்நீளத்தை நாம் பகுக்கத்தின் மூலம் அளந்திருக்கக் கூடும்.

ஒலியின் பிரதிபலிப்பு

ஒலி அலையின் நீளம் போதுமான அளவு சிறியதாயிருக்கிறது என்றும் ஆகவே ஒலி, கதிர்களின் மூலமாகப் பரப்பப்படுகிறது என்றும் இப்பிரிவில் நாம் தற்கோள் கொள்வோம். இப்படிப்பட்ட ஒலிக் கதிர் காற்றிலிருந்து திண் பரப்பின் மீது விழும் பொழுது என்ன நிகழ்கிறது? இச்சூழ்நிலையில் ஒலியின் பிரதிபலிப்பு ஏற்படுகிறது என்பது தெரியவருகிறது. ஆனால் அது எத்திசையில் பிரதிபலிக்கப்படுகிறது?

சுவரை நோக்கி எறியப்பட்ட பந்து எதிர்த்து வரும் அதே முறையிலேயே இப்படிப்பட்ட பிரதிபலிப்பு ஏற்படுகிறது என்பதை ஒலியின் பரப்புகைக்கும் பொருட்களின் துகள்களின் இயக்கத்துக்கும் இடையே அமைந்துள்ள ஒப்புமை காட்டுகிறது. ஆனால் இவ்விரு செயற்பாடுகளுக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் வித்தியாசம் என்னவெனில் மோதலின் போது, உராய்வின் செயற்பாட்டினால் பந்தின் வேகம் குறைந்து, காற்று ஊடகத்தின் பண்புகளை மட்டுமே சார்ந்திருக்கும் ஒலியின் பரப்புகை வேகம் கண்டிப்பாக மாறுவதில்லை. இங்கு, பிரதிபலிப்பு ஏற்படும் பொழுது, ஒலியின் வேகமாறுதலின் வடிவத்தில் அன்றி ஒலி அலைகளின் ஆற்றலின் ஒரு பகுதி, வெப்பமாக மாற்றமடைகிறது என்ற உண்மையின் மூலமாகவே உராய்வு வெளிப்படுகிறது.

ஒலி பிரதிபலிப்புக்கும் நெகிழ்ச்சியியல்பு மோதுகைக்கும் இடையே கொள்கை ரீதியாக எவ்வித வேறுபாடும் இல்லாததால், ஒலியின் பிரதிபலிப்பைக் கட்டுப்படுத்தும் விதி கீழ் வருமாறு தருவிக்கப்படுகிறது: ஒலிக் கதிரின் படுகோணம், அதாவது பரப்பின் மீது கதிர் விழும் பகுதியின் லம்பத்துடன் கதிர் ஏற்படுத்தும் கோணம், மீள் கோணத்துக்குச் சமமாயிருக்கிறது. படுகதிர், பரப்பின் லம்பம் ஆகியவற்றின் வழியே செல்லும் தளத்தின் மீது மீள் கதிர் அமைந்திருக்கி



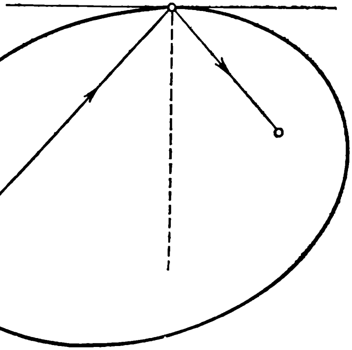
படம் 124

றது. இப்பரப்பு கதிரின் படுதளம் (plane of incidence) என அழைக்கப்படுகிறது.

இவ்வாறு ஒரு மீள் கதிர் எந்தத் திசையில் அமைந்திருக்கும் என்பதை அறிய விரும்பினால், நாம் கீழ்வருமாறு செய்தல் வேண்டும். கதிர் படும் புள்ளியில் ஒரு லம்பம் வரைந்து படுகோணத்தை அளந்த பின் படுதளத்தை அமைக்கவும், பின்னர் இத்தளத்தில் லம்பத்தின் மறு பக்கம் படுகோணத்துக்குச் சமமாயிருக்கும்படியாகக் கோணத்தைக் குறித்துக் கொள்ளவும். இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட நேர்கோடே மீள் கதிராகும் (படம் 124).

இப்பொழுது நாம் ஒரு சுவையான பிணக்குக்குத் தீர்வு காண்போம்.

தோற்றுவாயிலிருந்து ஒலி எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்பப்படுகிறது என்பதும் வெகு தூரத்தில் அமைந்திருக்கும் புள்ளியை ஒலியாற்றலின் சிறு பகுதியே சென்றடைகிறது என்பதும் நாமறிந்த செய்திகளே. தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிப்படும் ஒலியைத் திரும்பவும் ஒரு புள்ளியில் குவியச் செய்வதற்கு எப்படிப்பட்ட பிரதிபலிப்புப் பரப்பு தேவைப்படுகிறது? ஒரு புள்ளியிலிருந்து (ஒலியின் தோற்றுவாய்) வெளிப்படும் கதிர்கள் இப்பரப்பின் மீது மாறுபட்ட கோணங்களில் விழும் பொழுது, திரும்பவும் ஒரே புள்ளியை நோக்கி இக்கதிர்களைப் பிரதிபலித்து அனுப்பும்



படம் 125

இயல்புடையதாக இப்பரப்பு அமைய வேண்டும். இத்தகைய பரப்பை நாம் அறிந்திருக்கிறோமா?

நீள்வட்டம் (ellipse) என்றால் என்ன? என்பதை நாம் ஏற்கனவே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். இந்நீள் வட்டத்தின் மேல் அமைந்திருக்கும் ஒரு புள்ளியிலிருந்து அதன் குவிமையங்கள் அமையப் பெற்றிருக்கும் தூரங்களின் கூட்டுத்தொகை அந்நீள்வட்டத்தின் மேல் அமைந்திருக்கும் எல்லாப் புள்ளிகளுக்கும் சர்வசமமாக இருக்கிறது என்னும் சிறப்புப் பண்பைக் கொண்ட இம்முக்கியமான வளைகோட்டைப் பற்றி நாம் விரிவாகக் குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். ஒரு நீள்வட்டம் அதன் பேரச்சை மையமாகக் கொண்டு சுற்றிக் கொண்டிருப்பதாகக் கற்பனை செய்யவும். சுற்றிக் கொண்டிருக்கும் வளைகோடு ஒரு பரப்பை உண்டாக்குகிறது. இப்பரப்பு நீள்வட்டவுருடையது அல்லது சுருக்கமான நீள்வட்ட உரு (ellipsoid) என அழைக்கப்படுகிறது. நீள்வட்ட உரு, அமைப்பில் ஒரு முட்டையை ஒத்திருக்கிறது.

நீள்வட்டம் கீழ்வரும் வடிவியல் சார்ந்த தனித்தன்மையைப் பெற்றிருக்கிறது (படம் 125). நீள்வட்டத்தின் இரு குவிமையங்களும் நீள்வட்டத்தின் மீது ஒரு புள்ளியில்

எதிர்நோக்கும் கோணத்தின் சமவெட்டி, அப்புள்ளியில் நீள் வட்டத்துக்கு லம்பமாக அமைகிறது (அப்புள்ளியில் வரையப்படும் தொடுகோட்டுக்குச் செங்குத்தாக அமைகிறது). ஆகவே நீள்வட்ட உருவின் குவிமையங்களில் ஒன்றிலிருந்து ஒலிக் கதிர் வெளிப்பட்டால், அது அதன் பரப்பால் பிரதிபலிக்கப்பட்டு மற்ருெரு குவிமையத்தை வந்தடைகிறது. அக்குவிமையத்திலிருந்து வெளிப்படும் எல்லா ஒலிக் கதிர்களும் இவ்வாறே செயல்படுகிறன. அதனுல் ஒரு குவிமையத்திலிருந்து வெளிப்பட்ட ஒலியின் முழு பாயமும் அதிர்களும் மற்ருெரு குவிமையத்தில் வந்து சேருகின்றன.

வளைபரப்புகளின் இத்தகைய பண்பை மக்கள் மிகப் பழங்காலத்திலேயே அறிந்திருந்தார்கள். இடைக்காலத்தில் தனிப்பட்டவர்களின் சிந்தனைகளைக் கட்டுப்படுத்துவது அரசாங்கச் செயல்முறையின் மிக முக்கியமான அம்சமாக இருந்த பொழுது, உரையாடல்களை உற்றுக் கேட்பதற்காக வளைபரப்புகள் பயன்படுத்தப்பட்டன. மிகத் தாழ்ந்த குரலில் தங்களுடைய கருத்துக்களைப் பறிமாறிக் கொண்டிருக்கும் ஒருவர், வளைவான கூரை அமைந்திருப்பதால், அருந்தகத்தின் மற்ருெரு மூலையில் அமர்ந்திருக்கும் மடத் துறவி இவ்வுரையாடலின் ஒவ்வொரு வார்த்தையையும் பெரும்பாலும் அவர்களைப்போன்று தெளிவாகக் கேட்டுக் கொண்டிருக்கிருர் என்பதைப் பற்றிச் சிறிதளவேனும் சந்தேகங்கொள்வதில்லை.

நீள்வட்ட உருப் பரப்பை உண்டாக்குவது மிகக்கடினமான செயலாகும். ஆனுல் கோளப் பரப்பின் சிறிய பகுதிகள் அமைப்பில் நீள்வட்ட உருவின் பகுதிகளிலிருந்தும் சிறிதே வேறுபட்டிருக்கின்றன.

அதிர்வுக்குட்படுத்தப்பட்ட பொருள் இத்தகைய கோள ''அடி'' ஒன்றின் முன்னுல் வைக்கப்பட்டால், அப்பொருளி

லிருந்து வெளிப்படும் ஒலிக் கதிர்கள் திரும்பவும் மற்ெருரு பகுதியில் ஒன்று சேருகின்றன (உண்மையான நீள்வட்ட உருவில் நடைபெறுவது போன்று ஒரு புள்ளியை வந்தடையாமல் விசும்பின் சிறு பகுதியில் ஒன்று சேருகின்றன).

அதிகக் குழிவான, சாதாரண தகட்டின் மூலம் கீழ்வரும் சோதனையை நாம் செய்து பார்க்கலாம். நடைமுறை ரீதியாக, ஒரு மீட்டர் தூரத்துக்கப்பால் நம் செவியால் உணரப்படாத டிக்டிக் ஒலியை வெளிப்படுத்தும் கைக்கடிகாரம் இத்தகைய தகட்டின் அருகில் வைக்கப்பட்டிருந்தால், தகட்டிலிருந்த வெகு தூரத்தில் அமைந்திருக்கும் ஒரு புள்ளியில் கைக்கடிகாரம் நம் காதின் அருகில் வைக்கப்பட்டிருப்பது போன்று அதன் டிக்டிக் ஒலி அதிகச் சப்தத்துடன் நம் காதில் விழுகிறது. நாடக மேடையில் நினைவூட்டுபவரின் அறையை அமைக்கும் பொழுது இவ்வியற்பாடுதான் உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. நினைவூட்டுபவர் அமர்ந்திருக்கும் இடமும் அறையின் அமைப்பும் ஒலி நாடக மேடையை நோக்கிப் பிரதிபலித்துச் செல்வதற்கு ஏற்றவகையில் மிகப் பொருத்தமாக அமைந்திருக்கின்றன.

நாடக அரங்குகள், இசையரங்குகள், கூட்டத்தொடர் அரங்குகள் முதலியவற்றைக் கட்டுபவர்களுக்கு அறையின் சுவர்களிலிருந்து ஒலி பிரதிபலிப்பு அடைதல் முக்கியமான இயற்பாடாகும். மூடியிருக்கும் அறையினுள் மிகவும் உகந்த செவியுணர் நிலையை ஏற்படுத்தும் பிணக்கு சம்பந்தப்பட்ட, அமைப்புப் பொறியியலின் இப்பிரிவு கட்டிடக் கலை சார்ந்த ஒலியியல் என அழைக்கப்படுகிறது.

மேற்பரப்பின் மீது செல்லும் அலைகள்

நீர் மூழ்கிக் கப்பல்கள் கடலின் இரைச்சலை உணர்வதில்லை. பேரிரைச்சலின் போதுகூட, கடலுக்கு அடியில் சில

மீட்டர்கள் ஆழத்தில் அமைதி நிலவுகிறது. பொருளின் மேற்பரப்பின் மீது மட்டுமே செயலாற்றும் அலை இயக்கத்துக்குக் கடல் அலையே உதாரணமாக அமைகிறது.

கடல் அலைகள் இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும் தண்ணீர்ப் பொருண்மையின் ஓட்டங்களேயாகும் என நாம் சில நேரங்களில் நினைக்கலாம். ஆனால் இது உண்மையல்ல. படகின் துடுப்பை இயக்குபவர்கள் ஓய்வெடுக்கும் பொழுது, அலைகள் அப்படகை எவ்வாறு உருளச் செய்கின்றன என்பதை நாம் கவனித்திருந்தால், தண்ணீர்த் துகளின் அதிர்வியக்கத் தன்மையைப் புரிந்து கொள்வது எளிதாயிருக்கிறது. கப்பல் மேலும் கீழும் முன்னோக்கியும் பின்னோக்கியும் அசைந்தாலும் நடைமுறையில் முன்னோக்கிச் செல்வதில்லை. மேலும் துல்லியமாகச் செய்யப்பட்ட காட்சிப்பதிவு, தண்ணீர்த் துகள்கள் வட்ட இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்படுகின்றன என்பதைக் காட்டுகிறது. தண்ணீரின் ஒவ்வொரு துகளும் கிட்டத்தட்ட வட்டப் பாதையில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறது. வட்டங்களின் தளங்கள், அலையின் பரப்புகைத் திசையில், அதாவது அலை முகத்துக்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்கின்றன.

சிறு குமிழ்கள், பேரலைகள், ஒன்றையொன்று வேகமாகப் பின் தொடரும் அலைகள், ஒன்றுக்கொன்று விதிக இடைவெளியுடன் அமையும் அலைகள் என இவ்வாறு மாறுபட்ட காட்சிகளை அமைதியற்ற கடல் தருகிறது. இயற்பியல் அறிஞரின் நோக்கில் குறிப்பிட்டால், அலைகள் வேறுபட்ட வீச்சுக்களையும் அலை நீளங்களையும் கொண்டிருக்க முடியும்.

ஆழம் அதிகரிப்பதினால் அலைகளின் வீச்சுக்கள் வேகமாகக் குறைகின்றன என்பதை நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். மேற்பரப்புக்கு அடியில் அமைந்திருக்கும் தண்ணீர்த் துகள்கள் மிகக் குறைந்த வீச்சுடன் கூடிய அதிர்வை மேற்

கொள்கின்றன; ஆழம் அதிகமாகும் பொழுது இவ்வீச்சு மேலும் குறைகிறது. அலை நீளத்தின் பகுதிக்குச் சமமான ஆழத்தில் அதிர்வின் வீச்சு 20 மடங்கு குறைகிறது; அலை நீளத்துக்குச் சமமான ஆழத்தில் நடைமுறை ரீதியாக இயக்கமே நடைபெறுவதில்லை.

பரப்புகை வேகம் ஊடகத்தின் பண்புகளைச் சார்ந்திருக்கும் அலைகளைப் பற்றி மட்டுமே இதுவரையிலும் நாம் குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். மேற்பரப்பு அலைகள் மற்றொரு வகையைச் சேர்ந்தவை: வித்தியாசமான அதிர்வெண்களுடன் கூடிய அதிர்வுகள் வித்தியாசமான வேகங்களுடன் பரப்பப்படுகின்றன. பரப்புகை வேகமும் அதிர்வு நேரமும் $c = gT/2\pi$ என்னும் எளிய சார்பின் மூலம் சம்பந்தப்பட்டிருக்கின்றன. இதில் g என்பது ஈர்ப்பு முடுக்கமாகும். இச்சூத்திரத்தில் ஈர்ப்பு முடுக்கமாகிய gன் தோற்றம் இயல்பானதே! ஏனெனில், மிகச் சரியாகக் குறிப்பிட்டால், ஈர்ப்பு விசையே நீர்ப்பரப்பைத் தளமாக்கியிருக்கிறது. அதிர்வெண் 1 ஹெர்ட்ஸ் என்றிருக்கும் பொழுது, கிட்டத்தட்ட 1.5 மீ/விநாடி என்ற வேகத்துடன் கூடிய அலைகள் தோன்றுகின்றன என்பது இச்சூத்திரத்திலிருந்தும் தெரியவருகிறது. திறந்த கடலில் எழும் அலைகளுக்கு இச்சூத்திரம் நன்கு பொருந்துகிறது. கரையின் அருகில் அல்லது பொதுவாக ஆழம் குறைந்த நீரில் இந்த எளிய சார்பு மிகவும் சிக்கலாக்கப்படுகிறது. $\lambda = cT$ ஆகையால், $c = \sqrt{g\lambda/2\pi}$ ஆகும். ஆகவே கடலில் ஏதாவது ஒரு பகுதியில் பெரிய புயல் தோன்றும் பொழுது, அதிகப்பட்ச பரப்புகை வேகத்தைக் கொண்ட மிகவும் நீளமான அலைகளே முதலாவதாக வெகு தூரங்களுக்குச் செல்கின்றன.

திடப்பொருட்கள் எவ்வாறு ஒலியைப் பரப்புகின்றன?

ஒலி, திரவங்கள், வாயுக்கள் முதலியவற்றின் வழியே பரப்பப்படுவதற்கும் திடப்பொருட்களின் வழியே பரப்பப் படுவதற்கும் இடையே முக்கியமான வேறுபாடு அமைந்தி ருக்கிறது. நெடுக்கலைகளோடு குறுக்கலைகளும் திடப்பொருட் களில் எழுகின்றன என்ற உண்மையில்தான் இவ்வேறுபாடு அடங்கியிருக்கிறது.

குறுக்கலை என்ற சொல்லின் பொருள் அச்சொல்லிலேயே அடங்கியிருக்கிறது. அலையின் செயலாற்றலில் பங்கு கொள் ளும் துகள்கள் அலையின் பரப்புகைத் திசையில் அதிர்வுகளை மேற்கொள்ளாமல் குறுக்குத் திசையில், அதாவது பரப்பு கைத் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் அதிர்வுகளைச் செய்யும் சிறப்பு அம்சத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன.

வாயு அல்லது திரவத்தின் வழியே செல்லும் ஒலி அலை, சுருக்கங்களையும் அடர் குறைப்பினையும் (rarefaction) திரும்பத் திரும்ப ஏற்படுத்திச் செல்கிறது. இப்படிப்பட்ட அலை நெடுக்கலையாக மட்டுமே இருக்க முடியும்; துகள்கள் குறுக்கதிர்வுகளுக்குட்படுத்தப்படும் பொழுது, கன அளவில் உள்ளிட மாறுதல்களை, அதாவது சுருக்கங்கள், அடர் குறைப்புகள் ஆகியவற்றை ஏற்படுத்த முடியாது. வாயு அல்லது திரவத்தில் குறுக்கலை தோன்றுவது சாத்தியமில்லை. ஏனெனில் இவ்வூடகங்கள் சுருக்கத்தை அல்லது அடர் குறைப்பை எதிர்க்கின்றனவேயன்றிச் சறுக்குப் பெயர்ச்சியை எதிர்ப்பதில்லை. திடப்பொருள் அதன் கன பரிமாணங்களில் ஏற்படும் மாற்றத்தை எதிர்ப்பதுடன் அதன் அமைப்பில் ஏற்படும் மாற்றத்தையும் எதிர்க்கிறது. இதனால் திடப்பொ ருளில் நெடுக்கலைகளுடன் குறுக்கலைகளும் தோன்றுகின்றன.

திடப்பொருளாலான ஊடகத்தின் வழியே குறுக்கலை

பரப்பப்படும் பொழுது, குறுக்கலை உண்டாக்கப்படுகிறது: அலையின் செயலாற்றலுக்குட்படுத்தப்பட்ட பொருட்களின் துகள்கள் அலைகளின் பரப்புகைக் கோட்டிலிருந்து வெவ்வேறு திசைகளில் வரிசைக் கிரமமாக இயங்குகின்றன. ஆனால் நெடுக்கலைகள், திரவம் அல்லது வாயுவில் ஏற்படுத்துவது போன்று திடப்பொருளிலும் சுருக்கங்கள், அடர் குறைப் புகள் முதலியவற்றை உண்டாக்குகின்றன.

குறுக்கலைகளும் நெடுக்கலைகளும் ஒலியைச் சமமாகப் பரப்புகின்றனவே தவிர சம வேகத்துடன் பரப்புவதில்லை. நெடுக்கலைகள், எப்பொழுதும் குறுக்கலைகளைக் காட்டிலும் அதிக வேகத்துடன் பரப்பப்படுகின்றன.

பண்பியலான மதிப்புகள் இங்குத் தரப்பட்டிருக்கின்றன. எஃகில் குறுக்கலையின் வேகம் கிட்டத்தட்ட 3000 மீ/விநாடி ஆகவும் நெடுக்கலையின் வேகம் 6000 மீ/விநாடி ஆகவும் இருக்கின்றன. மெதுவான ஈயத்தில் ஒலி குறைந்த வேகத் தைக் கொண்டிருக்கிறது: குறுக்கலைகளின் வேகம் 700 மீ/விநாடி ஆகவும் நெடுக்கலைகளின் வேகம் 2200 மீ/விநாடி ஆகவும் இருக்கின்றன.

ரப்பரில் நெடுக்கலையின் வேகத்துக்கும் குறுக்கலையின் வேகத்துக்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் விகிதம் மிகப் பெரிய எண்ணுயிருக்கிறது. ரப்பர், அதன் அமைப்பு மாற் றத்துக்கு மிகக் குறைந்த தடையையே கொடுக்கிறது. ஆனால் அதன் கன அளவை மாற்றுவது என்பது அவ்வளவு எளி தான காரியமல்ல. ரப்பரில் 30 மீ/விநாடி என்ற குறைந்த வேகத்துடனேயே குறுக்கலைகள் பரப்பப்படுகின்றன. இது காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைவிடப் பத்து மடங்குச் சிறி யதாகும்.

இவ்விருவகை அலைகளைத் தவிர, பரப்பு அலைகளும் திடப் பொருளின் வழியே பரப்பப்படுகின்றன. ஆயினும் இவ்வ லைகள், கடல் அலைகளோடு ஒத்திருப்பதில்லை. ஏனெனில்

கடல் அலைகளில் விலக்கப்பட்ட துகள்களை அவற்றின் ஆரம்ப நிலைக்குக் கொண்டு வருவதற்கு ஈர்ப்பு விசை உதவுகிறது. திடப்பொருளில் தோன்றும் பரப்பு அலைகளில் அதன் துகள்களைக் கட்டியிருக்கும் நெகிழ்ச்சியியல்பு விசைகள் செயலாற்றுகின்றன. ஆகவே பரப்பு அலைகளின் வேகம், நெகிழ்வுப் பண்புகளைச் சார்ந்திருப்பது மிகவும் இயல்பபானதே! பரப்பு அலைகளின் வேகம் குறுக்கலைகளின் பரப்புகை வேகத்தில் கிட்டத்தட்ட 0.9 பங்குக்குச் சமமாயிருக்கிறது. திரவங்களில் அமைந்திருப்பது போன்றே அதிர்வுக்குட்படுத்தப்பட்ட துகள்களின் பாதைகள் அலை முகத்துக்குச் செங்குத்தான தளங்களில் அமைந்திருக்கின்றன. புள்ளிகள் நீள்வட்டங்களை ஒத்த முடிய வளைகோடுகளின் மீது நகர்ந்து செல்கின்றன. மேற்பரப்பிலிருந்து அமைந்திருக்கும் தூரம் அதிகரிக்கும் பொழுது, நீள்வட்டத்தின் அமைப்பு மாறுகிறது. அதிர்வின் வீச்சு குறைந்து அலை அமிழ்கிறது.

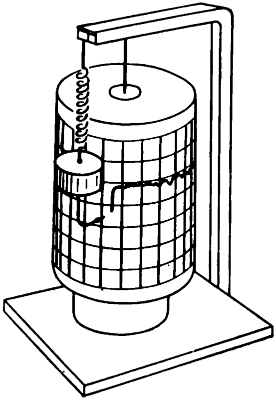
நில நடுக்கங்களை முன்னறிவிக்கும் கருவிகள்

பூமி ஒலியை நன்றாகக் கடத்துகிறது. இடைக்காலத்தில் எழுதப்பட்ட ஒவ்வொரு நாவலிலும் குதிரையில் பாய்ந்து செல்லும் கதாநாயகனைப் பின் தொடரும் காட்சியை நாம் பார்க்கலாம். ''குதிரையில் சென்றவர் திடீரெனக் குதிரையை இழுத்துக் கீழே இறங்கி அவருடைய செவியைத் தரையின் மீது வைத்து, நாம் பின் தொடரப்படுகிறோம். நாம் விரைந்து செல்ல வேண்டும் என்ற இச்சூழ்நிலையையும் நாம் அடிக்கடி பார்க்கலாம். உண்மையில் குதிரையின் குழம்புகள் தரையின் மேல் உண்டாக்கும் ஒலி, 1 கி.மீக்கும் அதிகமான தூரத்துக்குக் கடத்தப்படுகிறது. நெகிழ்வுதன்மையுடைய ஏனைய பொருட்களைப்போலவே பூமியும் ஒலி அலைகளைக் கடத்துகிறது.

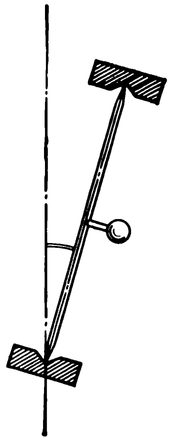
பூமியின் மூலம் பரப்பப்படும் ஒலி அலைகள் நில நடுக்கங்கள் பற்றிய செய்திகளையும் பூமியின் உள்ளகத்தே நிகழும் செயல் முறைகள் பற்றிய செய்திகளையும் நமக்குத் தருக்கின்றன. நில நடுக்கத்தின் போது தோன்றும் ஒலி அலைகள், **நில நடுக்க** (seismic) **அலைகள்** என அழைக்கப்படுகின்றன. நில நடுக்க அலைகளின் தோற்றம், அதிர்வின் வீச்சு, வேகம், அலை நீளம், அதிர்வெண் ஆகிய யாவும் நில நடுக்கப்பதிவிகள் என்று அழைக்கப்படும் அதிக உணருந்தன்மையுடைய கருவிகளின் உதவியால் கண்டுபிடிக்கப்படலாம்.

நில நடுக்கப்பதிவி சிக்கலான கருவியாகும். ஆனால் அது எவ்வாறு வேலை செய்கிறது என்பதைப் புரிந்து கொள்ளுதல் எளிதாயிருக்கிறது. வில்லில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் அதிகக் கனமான பளு நில நடுக்கப்பதிவியின் முக்கிய பாகமாகும். பூமியில் நிலைக்குத்து இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படும் பொழுது, பளுவுடன் கூடிய வில்லின் தொங்குப் புள்ளி படம் 126ல் காட்டியபடி பெயர்ச்சியடையும். பளுவின் அதிகமான சடமையினால்தான் ஆரம்பத்தில் அது ஒய்வுநிலையிலிருக்கிறது. பளுவுடன் எழுதுகோல் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. வளைவு நெழிவு இன்றி ஆதாரத்துடன் சேர்த்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஆதாரம் இடப்பெயர்ச்சி அடையும் பொழுது, தாளின் மேல் எழுதுகோல் நிலைக்குத்துக் கோட்டை வரையும். நில நடுக்க அலையைப் பதிவு செய்ய வேண்டுமானால், தாளைச் சுழலச் செய்வது அவசியமாகிறது.

பூமியின் நிலைக்குத்து இடப்பெயர்ச்சிகளைப் பதிவு செய்யும் இத்தகைய நில நடுக்கப்பதிவிகளைத் தவிர, கிடைமட்ட நில நடுக்கப்பதிவிகளும் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. கிடைமட்ட நில நடுக்கப்பதிவியின் செயல்முறைத் தத்துவம் படம் 127ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. பெரும்பாலும் நிலைக்குத்து நிலையில் இருக்கும் கம்பியே இக்கருவியின் முக்



படம் 126



படம் 127

கிய பாகமாகும். மையத்திலிருந்து விலகி அமைந்திருக்கும் பளு இக்கம்பியை ஊசலியாக மாற்றுகிறது. இந்த ஊசலி, கம்பியின் அச்சை மையமாகக் கொண்டு அலைவுற முடிகிறது. பூமி அமைதியாயிருந்தால், பளு தாழ்ந்த நிலையில், ஒய்வுநிலையிலிருக்கிறது. கிடைத் திசையில் ஏற்படும் நில அதிர்ச்சி, ஊசலியின் அச்சை இடம் பெயரச் செய்கிறது. அதே சமயத்தில் சடமத்தினால் அதிகக் கனமான பளு அதன் நிலையில் வைக்கப்படுகிறது. ஊசலியின் திருப்பம், தானே இயங்கும் பதிவியினால் பதிவு செய்யப்படுகிறது.

நாம் ஒரு நிலைக்குத்து நிலை அதிர்ச்சிப் பதிவியையும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான தளங்களில் அதிர்வுக்குட்படுத்தப்பட்ட இரு கிடைமட்ட நில அதிர்ச்சிப் பதிவிகளையும் ஒரு இடத்தில் நிறுவினால், எந்த இடப்பெயர்ச்சியின் எண் மதிப்பையும் திசையையும் நாம் பதிவு செய்ய முடிகிறது.

''நில அதிர்ச்சி'' என்ற சொல்லைக் கேட்டவுடன் வீடுகளும் மரங்களும் அழிக்கப்பட்டு, நில அதிர்வினால் ஏற்பட்ட பிளவுகளுள் அவை விழுந்து, மக்கள் உயிரிழக்கும் இத்தகைய காட்சி நம் மனக்கண் முன் தோன்றுகிறது. இப்படிப்பட்ட பெரும் நில அதிர்ச்சிகள் மிக அரிதாகவே நிகழ்கின்றன. ஆனால் உள்ளகத்தில் தோன்று நிகழ்ச்சிகளைப் பதிவு செய்யும் நில நடுக்கப்பதிவியின் எழுதுகோலை இயங்க வைப்பதற்குக் காரணமான பூமிக்கு அடியில் நடைபெறும் எல்லா நிகழ்ச்சிகளுக்கும் நில நடுக்கவியல் அறிஞர்கள் ''நில அதிர்ச்சி'' என்ற சொல்லையே பயன்படுத்துகின்றனர். இத்தகைய நில நடுக்கங்களையும் நில நடுக்கப்பதிவியே பதிவு செய்கிறது. ஒவ்வொரு ஆண்டும் பூமியில் கிட்டத்தட்ட நூற்றுயிரக்கணக்கில் இவை தோன்றுகின்றன. ''கீழுலக அரசு'' மிகவும் சுறுசுறுப்பான வாழ்க்கையையே மேற்கொண்டிருக்கிறது எனத் தெரியவருகிறது!

நில நடுக்க அலை, நில நடுக்க மையத்திலிருந்து எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்பப்படுகிறது. இந்த அலை, பல நாடுகளில், பல நகரங்களின் அமைக்கப்பட்டிருக்கும் பல நில நடுக்கப்பதிவிகளாலும் பெறப்படுகிறது. நில நடுக்க மையத்திலிருந்து, நாம் சற்று முன்னர் குறிப்பிட்ட மூன்றுவகை அலைகளும் வெளிப்படுவதால், கீழுலகத்தில் தோன்றும் ஒவ்வொரு நடுக்கமும் மூன்றுமுறை பதிவு செய்யப்படுகின்றன. நெடுக்கலைதான் முதன்முதலில் காட்சிப்பதிவு செய்பவரை அடைகிறது. இதைக் தொடர்ந்து குறுக்கலையும் இறுதியில் பரப்பலையும் பதிவு செய்யப்படுகின்றன.

இருப்பினும் நில நடுக்கவியல் அறிஞருக்கும் பரப்பு அலைகளே மிக முக்கியமானவைகளாகும், ஏனெனில் எளிதாக அறிந்து கொள்ளப்பட்ட காரணங்களால் அவையே அதிகப்பட்ச செறிவுடையனவாகும்.

ஒலி அலையின் செறிவு, ஒலியின் தோற்றுவாயிலிருந்து

கணக்கிடப்படும் தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்று நாம் குறிப்பிட்டோம். ஆனால் பரப்பு அலைகளுக்கு இவ்விதி பொருந்தாது. ஒலியின் தோற்றுவாயை மையாகக் கொண்டு இரு கோளங்களை அமைக்காமல் இரு வட்டங்களை வரைவோம். வட்டத்தைக் கடந்து செல்லும் அலையின் ஆற்றல் $T \cdot 2\pi r$க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. இதில் I என்பது செறிவாகும். இதனால் ஆற்றல் அழியாமலிருக்கும் பொழுது, பரப்பு அலையின் செறிவு $1/r$க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறதேயன்றி $1/r^2$க்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதில்லை. ஆகவே நெடுக்கு அலைகள், குறுக்கலைகள் முதலியவற்றைக் காட்டிலும் இவ்வலைகள் குறைந்த அளவு தளர்ச்சியடைந்து காட்சிப்பதிவு செய்பவரை அடைகின்றன.

நில நடுக்க அலைகளைப் பகுப்பாய்வதன் மூலம் நில நடுக்க மையத்தின் அமைவிடத்தை மட்டுமே தீர்மானிக்க முடிகிறது என்று எண்ண வேண்டாம். பூமியின் இயல்பமைப்பு பற்றிய பெரிய அளவிலான முக்கியமான பல முடிவுகளையும் இதன் மூலம் நாம் பெற முடிகிறது. பூமியின் நடுப்பகுதியில் இருந்து வரும் சைகைகள், அதன் இயல்பைப் பற்றி மதிப்பீடு செய்வதற்கு உதவுகின்றன. வெவ்வேறு ஆழங்களில் நில நடுக்க அலைகளின் வேகங்கள் வித்தியாசமானதாயிருப்பதே இதற்கான காரணமாக அமைகிறது. பூமியின் மேற்பரப்புக்கு அருகில் நெடுக்கலைகள் 5.5 கி.மீ/வினாடி என்ற அளவிலான வேகங்களையும் குறுக்கலைகள் 3.3 கி. மீ/வினாடி என்னும் அளவிலான வேகங்களையும் கொண்டிருக்கின்றன. ஆயினும் பூமியின் மையத்தில் நில நடுக்க அலைகளின் வேகம் 11—12 கி.மீ/வினாடியை எட்டுகிறது.

இயல்பமைப்பின் எந்தெந்தச் சிறப்புப் பண்புகள் அலைகளின் பரப்புகை வேகத்தைக் கட்டுப்படுத்த முடியும் என்

பதைத் தெரிந்து கொண்டு, இதிலிருந்து பூமியின் உள்ள கத்தின் இயல்பமைப்பு பற்றிய முடிவுகளை ஆராய்ச்சியாளர்கள் அறிவிக்கிறார்கள். உதாரணமாக, பூமியின் உள்ளகத்தின் நடுப்பகுதியைக் குறுக்கலைகள் ஊடுருவிச் செல்ல முடிவதில்லை என்பது நிரூபிக்கப்பட்டிருக்கிறது. குறுக்கலைகள் திரவங்களின் வழியே ஊடுருவிச் செல்லாததால், பூமியின் உள்ளகம் திரவநிலையில் இருக்கிறது என்று முடிவு செய்யப்பட்டது.

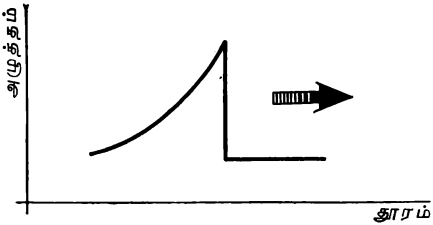
அதிர்ச்சி அலை

அன்றாட வாழ்க்கையின் நடைமுறையில் ''அலை'' என்ற சொல்லுடன் பருவ நிகழ்வுச் செயல்முறையின் காட்சியும் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அமைதியற்ற கடல் இதற்குப் பொருத்தமான உதாரணமாகும். அலைகளின் மீது சவாரி செய்வது கடலில் குளிப்பவர்கள் விரும்பிச் செய்யும் பொழுது போக்காகும்.

இயற்பியலில் ''அலை'' என்னும் சொல்லைச் சிறிது பரந்த நோக்கில் உபயோகிக்கிறோம். ஒரு முறை அடித்தல், வெடித்தல், காற்றை உள்நோக்கி உறிஞ்சுதல் ஆகிய செயல்முறைகளால் விளையும் உள்ளீட்டு அழுத்த அதிகரிப்பு அல்லது குறைவு ஏற்படும் பொழுதும் கூட அலையின் பரப்புகையைப் பற்றி நாம் குறிப்பிடுகிறோம்.

வெடித்தலால் எழுந்த காற்றலை மிகவும் வேறுபட்டுத் தோன்றுகிறது. (காற்றலையை ஒளிப்படம் எடுப்பது சாத்தியமானது என்பதை நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம், ஆகவே ''தோன்றுகிறது'' என்ற சொல், அழுத்த அலைக்கு மிகவும் ஏற்றதாயிருக்கிறது.)

இப்படிப்பட்ட வெடித்தல் அலையின் கண நேர வடிவத் தோற்றம் படம் 128ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. அலையின் ஒரு எதேச்சையான பரப்புகைத் திசையில் அமைந்திருக்



படம் 128

கும் அழுத்தத்தின் பரப்பீட்டை வளேகோடு விவரிக்கிறது. படிப்படியாக எழுச்சியடைந்து முடிவில் செங்குத்தான வீழ்சியால் முடிவடையும் அமைப்பை அலேயின் வடிவம் கொண்டிருக்கிறது. அலேயின் இயக்கத் திசை இடமிருந்து வலமாக அமைந்திருப்பதாகப் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. அலே முகத்துக்கு வலப்புறம் அமைந்திருக்கும் காற்றுப் பகுதிகள், நாம் கவனித்துக் கொண்டிருக்கும் தருணத்தில் ஒய்வுநிலேயிலிருக்கின்றன. அலே இனிமேல்தான் அப்பகுதிகளுக்குச் செல்ல வேண்டியிருக்கிறது.

''அலே முகப்பில்'' ஏற்படும் அழுத்தத்தின் கூரிய எற்றமே சற்று முன்னர் விவரிக்கப்பட்ட வெடித்தல் அல்லது **அதிர்ச்சி அலேயின்** அடிப்படைப் பண்பாக அமைகிறது; ஓய்வுநிலேயிருக்கும் புள்ளிகள், நடைமுறை ரீதியாகக் கூறிஞல், திடீரெனப் பெரும் அழுத்தத்துக்குட்படுத்தப்படுகின்றன: சற்று முன்னர் வளியழுத்தத்துக்குட்படுத்தப்பட்டிருந்த காற்றுத் துகள்களின் மீது திடீரெனப் பெருமஅழுத்தம் செயல்படுகிறது. பின்னர், அதிர்ச்சி அலே மேலும் முன்னேக்கிச் செல்லும் பொழுது, நாம் கவனித்துக் கொண்டிருந்த புள்ளியில் செயல்படும் அழுத்தம், மிதமான சரிவுடைய குன்றின் இடப்புறச் சரிவின் வடிவத்தைப் போன்று படிப்படியாக வீழ்ச்சியடைகிறது.

அலேயின் எந்தப் பரப்புகைக் கோட்டின் மீதும் அமைந்

திருக்கும் அழுத்தத்தின் பரப்பீடு, படம் 128ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. அலை விசும்பில் பரப்பப்படுகிறது; பரப்பு அலை முகப்பாக அமைந்திருக்கிறது.

அதிர்ச்சி அலையின் முகப்பு, அழுத்தத்தில் மட்டுமின்றி அடர்த்தி, வெப்பநிலை முதலியவைகளின் ஏற்றத்தையும் அதனுடன் கொண்டு வருகிறது.

அழுத்தம், வெப்பநிலை ஆகியவற்றில் ஏற்படுத்தும் மாறுதல்களுடன் அதிர்ச்சி அலை அதனுடன் இயக்கத்தையும் தாங்கி வருகிறது. ஒலி அலையிலும் கூட அலையின் பரப்புகைக் கோட்டின் மேல் அமைந்திருக்கும் காற்று இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்படுகிறது. நம் கவனத்தைத் திருப்பும் அளவுக்கு இவ்வியற்பாடு தெளிவாக அமையவில்லை. ''ஈடுபடுகிறது'' என்ற தொடர் கடுமையற்ற சொல்லாக இருப்பதால், அதிர்ச்சி அலையின் பரப்புகையின் போது காற்று பலமான செயற்பாட்டுக்குட்படுத்தப்படுகிறது என்று குறிப்பிட வேண்டியதிருக்கிறது. அதிர்ச்சி அலை மிகவும் ஆற்றல் வாய்ந்த சூறுவளிக் காற்றை உண்டாக்குகிறது. ஆற்றல் வாய்ந்த அதிர்ச்சி அலைகளின் போது ஏற்படும் இயக்கத்தை விவரிப்பதற்கு ஏற்ற சொற்றொடரைக் கண்டுபிடிப்பது சாத்தியமானதல்ல.

நாம் குறிப்பிட்டுக் கூறிய பண்புகளின் ஏற்றங்கள் தனிச்சிறப்பு வாய்ந்த கூரிய ஏற்றங்களாகும். வாயு மூலக்கூற்றின் சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தின் சில மடங்குகளுக்குச் சமமான நீள இடைவெளியில் முழுவதுமாக ஓய்வுநிலையிலிருந்த பொருள் பெரும் வேகத்துடன் கூடிய இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்படும் மாற்றம் நிகழ்கிறது. காற்றைப் பொறுத்தமட்டில் இது ஒரு சென்டிமீட்டரில் நூற்றாயிரங்களில் ஒரு பகுதியின் அளவிலான துணை நுண்ணியல் எண்மதிப்புடையதாய் இருக்கிறது. இத்தகைய ஏற்றம் நடைபெறுவதற்குத் தேவையான நேரம் ஒரு வினாடியில் பத்து

பில்லியன்களின் (10^{-10}) ஒரு பகுதியின் மடங்குகளில் அள கப்படுகிறது. அழுத்தம், அடர்த்தி, வெப்பநிலை, இயக்க வேகம் முதலியவைகளின் நிலைகளில் ஏற்படும் இத்தகைய உண்மையான உடனடி மாற்றமே அதிர்ச்சி அலையின் அறி குறியாகும்.

வெடித்தலின் விசையைப் பொறுத்து அதிர்ச்சி அலை அதனுடன் சேர்த்துக் கொண்டு வரும் அழுத்த ஏற்றம் அல்லது வேறுவிதமாகக் குறிப்பிட்டால் அலை முகத்தின் உயரம் மிகவும் வேறுபட்டிருக்க முடியும்: அதிர்ச்சி அலை வந்து அடைந்த உடனேயே அழுத்தம் சில சதவீதங்களிலிருந்து பத்து மடங்குகளின் வீதத்தில் அதிக ரிக்கிறது.

அதிர்ச்சி அலையின் முகப்பில் ஏற்படும் எல்லாக் கணி யங்களையும் சேர்ந்த திடீர் ஏற்றங்களின் மதிப்புகள் ஒன்றுக் கொன்று சார்புடையவையாய் இருக்கின்றன. அழுத்தத்தின் திடீர் ஏற்றத்தைத் தெரிந்திருப்பதிலிருந்தும் அடர்த்தி, வெப்பநிலை, இயக்க வேகம் ஆகியவற்றின் திடீர் ஏற்றங் களை நாம் கணக்கிட முடிகிறது. அலை முகப்பின் உயரம், அதிர்ச்சி அலையின் பரப்புகை வேகத்தையும் தீர்மானிக்கி றது. தளர்ந்த அதிர்ச்சி அலையின் வேகம், சாதாரண ஒலி அலையின் வேகத்தை ஒத்திருக்கிறது. அலை முகப்பின் உயரம் அதிகரிக்கும் பொழுது, அதிர்ச்சி அலையின் பரப்புகை வேக மும் அதிகரிக்கிறது.

அழுத்தத்தை ஒன்றரை மடங்கு அதிகரிக்கச் செய்யும் ''மிதமான'' அதிர்ச்சி அலைக்குரிய எண்களைக் கீழே குறிப் பிடுவோம். இத்தகைய அழுத்த அதிகரிப்பு, காற்றின் அழு த்தில் 30%- அதிகரிப்பையும் வெப்பநிலையில் 35° ஏற் றத்தையும் எற்படுத்துகிறது என்பது தெரியவருகிறது. இப் படிப்பட்ட அதிர்ச்சி அலையின் முகப்பின் வேகம் கிட்டத் தட்ட 400 மீ/விநாடி ஆக இருக்கிறது. ஆரம்ப மதிப்பைப்

போன்று 1.5 மடங்குச் சமமாயிருக்கும் குறைந்த அழுத்த ஏற்றத்தை ஏற்படுத்தும் அதிர்ச்சி அலை கூட, அதனுடன் 100 மீ/விஞடி அல்லது 360 கி.மீ/மணி என்னும் வேகத்தில் காற்றைக் கொண்டு செல்கிறது.

ஆயினும் ஒப்பிடமுடியாத அளவுக்கு அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த அதிர்ச்சி அலைகளை உண்டாக்கும் வெடித்தல்கள் சாத்தியமானவைகளே! அலை 10 மடங்கு அழுத்த அதிகரிப்பை ஏற்படுத்திஞல், அலை முகப்பில், அடர்த்தியில் தொடர்ச்சியற்ற முறையில் நான்கு மடங்கு அதிகரிப்பும் வெப்பநிலையில் 500° C அதிகரிப்பும் ஏற்படுகின்றன. மேலும் காற்றின் வேகம் 725 மீ/விஞடி என்னும் அளவை எட்டுகிறது. இப்படிப்பட்ட அதிர்ச்சி அலையின் பரப்புகை வேகம் 1 கி. மீ/விஞடி க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

ஆற்றல் வாய்ந்த வெடித்தல்கள் உண்டாக்கும் அதிர்ச்சி அலைகள் பத்து கிலோமீட்டர் தூரத்துக்கப்பாலும் கடந்து செல்கின்றன. அதிர்ச்சி அலை உண்டாக்கும் பண்புகளின் திடீர் ஏற்றங்கள், அந்த அலையின் பாதையில் அமைந்திருக்கும் பொருட்களுக்குக் கடுமையான அதிர்ச்சியைக் கொடுப்பது போன்று தோன்றுகிறது. தளர்ந்த அதிர்ச்சி அலைகள் பலகணிக் கண்ஞடிகளைத் தட்டுகின்றன; வீட்டுச் சுவர்களைத் தகர்க்கின்றன; மரங்களை வேருடன் சாய்க்கின்றன. பீரங்கியின் தகர்க்கும் ஆற்றல், பெரும்பாலும் அதிர்ச்சி அலைகளின் செயற்பாட்டையே அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கிறது.

அதிர்ச்சி அலைகளின் அழித்தல் பண்பு பல காரணிகளைச் சார்ந்திருக்கிறது: குறிப்பாக இவற்றுள் அலை செயல்படும் நேரம் மிகவும் முக்கியமானதாகும். ஆஞல், அலையின் அழித்தல் செயலுக்கும் அதன் அடிப்படை அளவுருவாகிய அழுத்தத்தின் அதிகரிப்புக்கும் நிலைபெற்றிருக்கும் தொடர்பு பற்றிய சில கருத்துக்களை எடுத்துக் கூறும் வகையில் இங்குச் சில குறிப்புகளைத் தருகிரேம். 2% உயரமுடைய அதிர்ச்சி

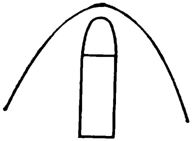
அலை பலகணியைத் தட்டிவிடும் அளவுக்கு ஆற்றல் வாய்ந்ததாயிருக்கிறது. ஆனால் இதைப்போன்று இரு மடங்கு அழுத்தம் கொண்ட அலை தடித்த சுவரையே தகர்த்துவிட முடிகிறது.

செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் கூடிய இயக்கம்

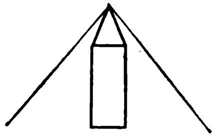
அதிர்ச்சி அலைகள், செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் பரப்பப்படுகின்றன என்பதை முன்னரே நாம் குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். காற்றில் திடப்பொருள் செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் இயங்கும் பொழுது, அதிர்ச்சி அலை தோன்றுகிறது என்பது தெரியவருகிறது. ஆகவே நவீன கால விமானப் பயணத்தைப் பொறுத்தமட்டில் அதிர்ச்சி அலைகள் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவைகளாய் இருக்கின்றன.

சமீப காலத்தில் 330 கி.மீ/வினாடி அல்லது 1200 கி.மீ/மணிக்கும் அதிகமான வேகங்களுடன் கூடிய இயக்கம் விமானப் பயணத்தின் போது சாத்தியமாகிறது. ஒலித் தடை என அழைக்கப்படும், செவியுணர் ஒலியினது வேகத்தின் எல்லைக் கோட்டு மதிப்பாகிய 1200 கி.மீ/மணிக்கு அதிகமான வேகத்துடன் வளிமண்டலத்தைக் கிழித்துச் செல்லும் ஆகாய விமானங்கள் வழிநடத்தப்படும் ஏவுகணைகள் முதலியவற்றின் இயக்கங்கள், ஒலித் தடைக்கு முன் பகுதியில் செயல்படும் இயக்கங்களிலிருந்தும் முற்றிலும் வேறுபட்டிருக்கின்றன. செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் பறந்து கொண்டிருக்கும் பொருளின் முன்னால் அதிர்ச்சி அலை ஒன்று அமையப்பெறுவதே இதற்கான காரணமாகும்.

வட்டவடிவமான ஏவுகணையால் உண்டாக்கப்படுகிற அதிர்ச்சி அலையின் விளக்கப்படம், படம் 129ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருளுக்குச் சற்று முன்னதாகக் கடந்து செல்லும் வளைகோட்டுப் பரப்பே



படம் 129



படம் 130

இதன் அலை முகப்பாகும். இயக்கக் கோட்டிலிருந்து கணக் கிடப்படும் தூரம் அதிகரிக்கும் பொழுது, அலை முகப்பு ஏவுகணையிலிருந்தும் அதிகமாகப் பின்தங்கிவிடுகிறது.

நாம் நன்கறிந்திருக்கும் ஏவுகணையின் வடிவத்தைப் பெற் றிருக்கும் கூர்மையான பொருள் உண்டாக்கும் அதிர்ச்சி அலையின் விளக்கப்படம் இதனின்றும் மிகவும் வேறுபட்டி ருக்கிறது. அதிர்ச்சி அலை ஏவுகணையின் ''மூக்குடன் ஒட்டி னாற்போல் அமைந்திருக்கிறது'' என்பதைப் படம் 130 காட் டுகிறது. அலை முகப்பு, கூம்பு வடிவைப் பெற்றிருக்கிறது.

செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் பறந்து கொண்டிருக் கும் ஏவுகணையை ஒளிப்படம் எடுப்பது சாத்தியமானதே! ஏவுகணையைச் சுற்றிலும் அமைந்திருக்கும் காற்றின் அடர்த் தியில் ஏற்படும் கூரிய வித்தியாசம் இதனால் உண்டாக்கப் பட்ட அதிர்ச்சி அலையின் முகத்தைத் தெளிவாக வரையறுக் கிறது. ஏவுகணை அதிக வேகத்துடன் இயங்கினால், கூம் பும் அதிகக் கூர்மையுடையதாக அமைகிறது.

செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டி ருக்கும் பொருள் எதிர்நோக்கும் தடையின் முக்கியமான தோற்றுவாய் அதிர்ச்சி அலையேயாகும். ஆனால் ஒலியின் வேகத்தைவிடக் குறைந்த வேகங்களுடன் கூடிய இயக்கங் களின் போது, இதன் விளைவாக ஏற்படும் சுழல் இயக்கத் தாலேயே தடை உண்டாக்கப்படுகிறது என்பதை நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். ஆகவே இவ்விருவகைய

யான இயக்கங்களுக்குட்படுத்தப்படும் பொருட்களுக்குச் சாதகமான வடிவங்கள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வேறுபட்டிருக்கின்றன. உயர்வேக இயக்கங்களுக்குச் சாதகமாயிருப்பவை குறைந்த வேகத்துடன் கூடிய இயக்கங்களுக்குச் சாதகமாக இருப்பதில்லை. இதே போன்று குறைந்த வேகத்துடன் கூடிய இயக்கங்களுக்குச் சாதகமாயிருப்பவை உயர்வேக இயக்கங்களுக்குச் சாதகமாக அமைவதில்லை.

முகப்பு கூர்மையான பொருள் சுழிப்பு இயக்கத்துக்குத் துணையாயிருக்கிறது; ஆகவே ஒலியின் வேகத்துடன் கூடிய இயக்கத்தின் போது இப்பொருள் அதிகமான தடையை எதிர்நோக்குகிறது. இதற்கு மாறாக, ஏவுகணையின் கூர்மையான அமைப்பு அதன் அதிர்ச்சி அலை உண்டாக்கும் தடையைக் குறைக்கிறது.

முகப்பு மழுக்கப்பட்டிருக்கும் பொருள் சுழிப்பு இயக்கத்துக்குத் தடையாய் இருக்கிறது. ஆகவே ஒலியின் வேகத்துடன் இயங்கும் பொழுது, முகப்பு கூர்மையான பொருட்களைக் காட்டிலும் இப்பொருள் மிகவும் சாதகமாகும். ஆனால் ஒலித்தடையைக் கடந்து செல்லும் பொழுது, அதிர்ச்சி அலையே தடையின் முக்கிய தோற்றுவாயாக இருப்பதனால் இவ்வடிவம் இயக்கத்துக்குச் சாதகமாய் இருப்பதில்லை. துப்பாக்கியிலிருந்து வெளியில் செலுத்தப்படும் ஏவுகணைகள் முகப்புக் கூர்மையைக் கொண்டிருப்பதற்கு இதுவே காரணமாக அமைகிறது. ஏனெனில் அவை செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் இயங்குகின்றன.

ஆனால் துரதிர்ஷ்டவசமாக, அதிர்ச்சி அலையைத் தளர்வடையச் செய்வதும் அதன் மூலம் செவியுணரா ஒலியின் வேகத்துடன் காற்றைக் கிழித்துச் செல்லும் பொருளின் மீது செயல்படும் தடையின் முக்கியமான தோற்றுவாயைத் தளர்வடையச் செய்வதும் சாத்தியமானவையல்ல. ஏவுகணைகள், ஆகாய விமானங்கள் முதலியவற்றைக் கட்டுபவர்

திலிருந்து மேல்நோக்கி எழுவதாலும் நிலத்தில் இறங்குவதாலும் இத்தகைய உடன்பாடு மிகவும் அவசியமாயிருக்கிறது.

மணிக்குப் பல ஆயிரம் கிலோமீட்டர்கள் என்னும் வேகத்துடன் பறக்கும் ஜெட் விமானங்கள் தற்காலத்தில் உபயோகத்தில் இருக்கின்றன. இதற்கும் அதிகமான வேகங்களுடன் பறக்கும் முயற்சியில் விமானம் கட்டுபவர்கள் அவர்களது பணியைத் தொடர்கிருர்கள். இதனுல் புதுப்புதுச் சிக்கல்கள் தோன்றுகின்றன. ஒலித் தடையைச் சமாளித்த பின்னர் பொறியியல் வல்லுநர்கள் வெப்பத் தடையைச் சமாளிக்க வேண்டியதிருக்கிறது.

விரைவாகச் சென்று கொண்டிருக்கும் ஆகாய விமானம் அல்லது ஏவுகணை அதற்கு முன்னுல் இருக்கும் காற்றை இறுக்குகிறது. இவ்விறுக்கம் வெப்பநிலை ஏற்றத்துக்கு வழி வகுக்கிறது. இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொருள் காற்றின் நடுவே கிழித்துச் செல்லும் பொழுது அக்காற்று சூடேறுகிறது. ஆகவே ஆகாய விமானத்தின் புறப்பரப்பின் வெப்பநிலையும் ஏறுகிறது.

வெப்பநிலையின் ஏற்றம் காற்றினது வேகத்தின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதாகத் தெரியவருகிறது. வேகம் அதிகமானுல் காற்றும் அதிகமாகச் சூடேற்றப்படுகிறது. ஆகாய விமானத்தின் வேகம் ஒலித் தடையை எட்டும் பொழுது, ஆகாய விமானத்தின் முன்னுல் அமைந்திருக்கும் காற்றின் வெப்பநிலை 60°C மட்டுமே அதிகரிக்கிறது. இவ்வியற்பாடு நடைமுறை ரீதியாக இதுவரையிலும் எவ்வித முக்கியத்துவத்தையும் பெற்றிருக்கவில்லை. ஆனுல் ஆகாய விமானத்தின் வேகம் ஒலியின் வேகத்தைவிட இரு மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கும் பொழுது, காற்றின் வெப்பநிலை 240°C ஆக உயருகிறது. ஆகாய விமானத்தில் வேகம் மூன்று மடங்களாகும் பொழுது, காற்று 820°C அளவிலான

வெப்பநிலையை அடைகிறது. இவ்வாறு சூடேறுதல், தொழில் நுட்பவியல் சார்ந்த பல முக்கியமான சிக்கல்களுக்கு வழி வகுக்கும் என்பதைப் புரிந்து கொள்ளுவது கடினமல்ல.

இயக்க வேகத்தின் அதிகரிப்பைப் பொறுத்து வெப்ப நிலை எவ்வளவு வேகமாக அதிகரிக்கிறது என்பது மேலே குறிப்பிட்ட எண்களிலிருந்தும் தெரியவருகிறது. 10 கி.மீ/வினாடி அளவிலான வேகங்களுடன் கூடிய இயக்கங்க ளின் போது, எந்தப் பொருளாயிருப்பினும் உருகி வாயு வாக மாறும் அளவுக்கு வெப்பநிலை மிகவும் அதிகமாக ஏறுகிறது. வால் நட்சத்திரங்கள், பலதரப்பட்ட பரிமா ணங்களையுடைய கற்களின் தொகுதி ஆகியவை வெளிப் பிரபஞ்சத்திலிருந்து பூமியின் வளிமண்டலத்தினுள் தொடர்ச்சியாக விழுந்து கொண்டிருக்கின்றன. இவை ஒரு வினாடிக்குப் பத்து கிலோமீட்டர்களின் மடங்குகளிலான வேகத்துடன் இயங்குகின்றன. பூமியின் மேற்பரப்பிற்கு மேலே 150—200 கி.மீ உயரத்தில், வளிமண்டலம் குறைந்த அடர் குறைப்புடன் இருக்கும் பொழுது, பூமியை நோக்கி விழும் இத்தகைய பொருட்கள் நாம் கவனிக்கத்தக்க அளவு சூடேறியிருக்கின்றன. 130—60 கி.மீ அளவிலான உயரங்களில் ஆவி நிலையை அடையும் அளவுக்கு இவற்றின் வெப்பநிலை மிகவும் அதிகரிக்கிறது. இரவு நேரங்களில் வானத்தில் ஒளிரும் கல் ஒன்றை நம்மு டைய சாதாரண கண்ணுல் பார்க்கிறோம். நாம் அதைப் பார்க்கும் தருணத்தில் வானத்திலிருந்து நட்சத்திரம் விழுந் தது போன்று தோன்றுகிறது. ''நட்சத்திரத்தின் வீழ்ச்சி'' நீண்ட நேரம் நிலைத்திருப்பதில்லை: ஒரு வினாடியில் ஒரு சிறு பகுதி நேரமே இக்காட்சி நிலைத்திருக்கிறது; பின்னர் இக்கல் ஆவியாகிவிடுகிறது.

எரிதலும் வெடித்தலும்

எரிதல் நடைபெற வேண்டுமானல் எரியுந்தன்மையுடைய பொருளை நோக்கி எரிந்து கொண்டிருக்கும் தீக்குச்சியைக் கொண்டு வர வேண்டியது அவசியம் என்பதை நாம் அறிந்திருக்கிரேம். ஆனல் தீக்குச்சியும் தானகவே எரிய ஆரம்பிப்பதில்லை. இதைத் தீப்பெட்டியுடன் உராய வேண்டியதிருக்கிறது. ஆகவே இத்தகைய வேதியியல் மாற்றம் ஆரம்பமாவதற்குப் பூர்வாங்க சூடேற்றுதல் அவசியமாயிருக்கிறது.

இதற்கான காரணத்தை நாமறிந்திருக்கிரேம். வேதியியல் மாற்றம் என்பது மூலக்கூறுகளை மற்ருெரு விதமாக ஒழுங்குபடுத்துவதேயாகும். இத்தகைய மறு ஒழுங்குபடுத்துதல் நடைபெறுவதற்கு அணுக்களின் ஆற்றல் வாய்ந்த வெப்ப இயக்கம் மிகவும் அவசியமாகிறது. ஆகவே வேதியியல் மாற்றங்களின் வேகங்கள் அதிக அளவு வெப்பநிலையையே சார்ந்திருக்கின்றன. ஒரு நியதியாக, 10°C வெப்பநிலை ஏற்றம் வேதியியல் மாற்றத்தின் வேகத்தை 2—4 மடங்கு அதிகரிக்கச் செய்கிறது.

10°C வெப்பநிலை ஏற்றத்தினல் வேதியியல் மாற்றத்தின் வேகம் 3 மடங்கு அதிகரிக்கும் பொழுது, 100°C வெப்பநிலை ஏற்றம் $3^{10} \simeq 60.000$ மடங்கு வேக அதிகரிப்பையும் 200°C ஏற்றம் $3^{20} \simeq 4 \times 10^{9}$ மடங்கு வேக அதிகரிப்பையும் 500°C வெப்பநிலை ஏற்றம் $3^{50} \simeq 10^{24}$ மடங்கு வேக அதிகரிப்பையும் ஏற்படுத்துகின்றன.

500°C வெப்பநிலையில், இயல்பான வேகத்துடன் நடைபெறும் வேதியியல் மாற்றம் அறை வெப்பநிலையில் நடைபெறுவதில்லை என்ற செய்தி நமக்கு வியப்பூட்டுவதில்லை. ஆரம்பக் கட்டத்தில் வேதியியல் மாற்றத்தைத் தொடங்கி வைக்கும் பொழுது தேவையான வெப்பநிலை உண்டாக்கப்

படுகிறது. வேதியியல் மாற்றம் நடைபெற்றுக் கொண்டிருக்கும் பொழுது வெளியிடப்படும் வெப்பத்தால் உயர் வெப்பநிலை நிலைநிறுத்தப்படுகிறது.

வேதியியல் மாற்றத்தின் போது வெளியேற்றப்பட்ட வெப்பம் சுற்றியிருக்கும் குளிர் ஊடகத்தினுள் வெளிப்பட்டிருக்கும் வெப்பத்தை விஞ்சும் அளவுக்கு ஆரம்பக்கட்ட சூடேற்றுதல் போதுமானதாக இருத்தல் வேண்டும். ஆகவே ஒவ்வொரு வேதியியல் மாற்றமும் அதற்குரிய **கொளுத்து நிலை** (ignition point) ஒன்றைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆரம்ப வெப்பநிலை கொளுத்து நிலையைவிட அதிகமாயிருந்தால் மட்டுமே எரிதல் ஆரம்பமாகிறது. காட்டாக, மரத்தின் கொளுத்து நிலை 610°C ஆகவும் பென்சீனின் கொளுத்து நிலை 200°C ஆகவும் வெள்ளைப் பாஸ்பரத்தின் கொளுத்து நிலை 50°C ஆகவும் இருக்கின்றன.

மரம், கரி அல்லது எண்ணெய் இவற்றை எரித்தல் என்பது அப்பொருளுடன் காற்றில் அடங்கியிருக்கும் ஆக்ஸிஜனைச் சேர்க்கும் வேதியியல் மாற்றமேயாகும். ஆகவே இப்படிப்பட்ட வேதியியல் மாற்றம் மேற்பரப்பிலேயே நடைபெறுகிறது: வெளிப்புற விடுக்கு எரியும் வரை இதனை அடுத்த அடுக்கு எரிதலில் பங்கு கொள்வதில்லை. இப்படிப்பட்ட எரிதல் ஏன் சார்பாகக் குறைந்த வேகத்துடன் நடைபெறுகிறது என்பதை இது விவரிக்கிறது.

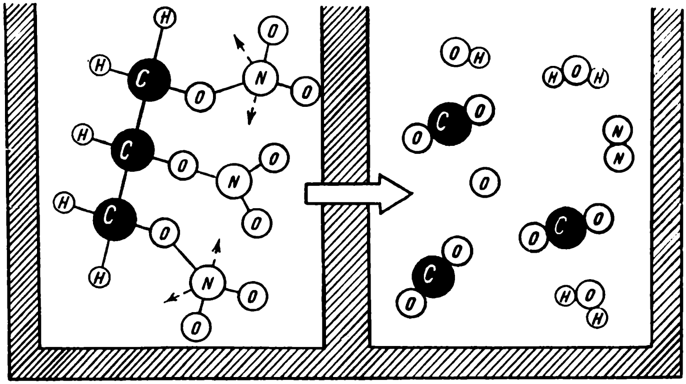
நாம் கூறியவற்றின் செல்லுபடியாகுந்தன்மையை நடைமுறை ரீதியாக நிலைநிறுத்துவது கடினமானதல்ல. எரிபொருள் சிறு துண்டுகளாக உடைக்கப்பட்டிருந்தால், எரிதல் நடைபெறும் வேகம் அதிக அளவு அதிகரிக்கிறது. இதனால்தான் பலதரப்பட்ட அடுப்புகளைக் கொண்ட அமைப்புகளின் தீப்பெட்டிகளினுள் நிலக்கரி நொறுக்கப்படுகிறது.

வேதியியல் மாற்றம் நடைபெறுவதற்குத் தேவையா

னவை அனைத்தும் பொருளின் உள்ளேயே அடங்கியிருந்து வளிமம் தேவையற்றதாக இருக்கும் பொழுது, சூழ்நிலை முற்றிலும் மாறுபட்டிருக்கிறது. ஹைடிரஜன், ஆக்ஸிஜன் முதலியவற்றுலான கலவையே (தூண்டு வெடி வாயு) இப் படிப்பட்ட பொருளின் உதாரணமாகப் பயன்படுகிறது. வேதியியல் மாற்றம், மேற்பரப்பிலன்றி, பொருளின் உட் பகுதியிலேயே நடைபெறுகிறது. எரிதலைப்போல் அன்றி இவ் வேதியியல் மாற்றத்தின் போது தோன்றும் ஆற்றல் அனைத் தும் உடனேயே வெளியேற்றப்படுகிறது; இதனுல் அழுத் தம் திடீரென அதிகரித்து வெடித்தல் நிகழ்கிறது. தூண்டு வெடி வாயு எரியாமல் வெடிக்கிறது.

இவ்வாறு வேதியியல் மாற்றத்துக்குத் தேவையான அணுக்களையும் மூலக்கூறுகளையும் வெடிமருந்து தன்னகத்தே கொண்டிருத்தல் வேண்டும். வெடிக்கும் வாயுக் கலவை களை நாம் தயாரிக்க முடியும் என்பது தெரியவருகிறது. திட நிலையிலும் வெடிப் பொருள்கள் நிலைபெற்றிருக்கின் றன. இவற்றின் தொகுப்புகளில் வெப்பம், வெளிச்சம் முத லியவற்றை வெளியிடும் வேதியியல் மாற்றங்களுக்குத் தேவையான எல்லா அணுக்களும் அடங்கியிருக்கின்றன.

வெடித்தலின் போது நடைபெறும் வேதியியல் மாற் றமானது, மூலக்கூறுகளை அதன் பகுதிகளாகப் பிரிவீடு செய்யும் பிரிவீட்டு (decomposition) மாற்றமாகும். வெடித்தல் மாற்றத்தின் உதாரணம் படம் 132ல் விவரிக் கப்பட்டிருக்கிறது. நைட்ரோகிளிசரின் மூலக்கூறு அதன் பகுதிகளாகப் பிரிவீடு செய்யப்படுதல் விவரிக்கப்பட்டிருக் கிறது. ஆரம்ப மூலக்கூற்றிலிருந்து கார்பன் டையாக்ஸைடு, தண்ணீர், நைட்ரஜன் முதலானவற்றின் மூலக்கூறுகள் அமைக்கப்படுகின்றன என்பது படத்தின் வலப்புறப் பகுதி யிலிருந்தும் தெரியவருகிறது. இறுதி உற்பத்திப் பொருட் களுள் எரிதலின் போது உண்டாக்கப்பட்ட இயல்பான உற்



படம் 132

பத்திப்பொருட்களும் அடங்கியிருப்பதை நாம் பார்க்கிறோம். ஆனால் காற்றில் அடங்கியிருக்கும் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகள் இதில் பங்கெடுத்துக் கொள்ளாமல் எரிதல் நடைபெற்றிருக்கிறது. எரிதலுக்குத் தேவையான அனைத்து மூலக்கூறுகளும் நைட்ரோகிளிசரின் மூலக்கூற்றிலேயே அடங்கியிருக்கின்றன.

வெடி பொருளின் வழியே உதாரணமாகத் தூண்டு வெடி வாயுவின் வழியே வெடித்தல் எவ்வாறு பரப்பப்படுகிறது? நாம் வெடி பொருளைத் தீப்பற்றச் செய்யும் பொழுது, அப்பொருளின் அண்மைப் பகுதிகளில் சூடேற்றுதல் நிகழ்கிறது. சூடேற்றப்பட்ட பகுதியில் வேதியியல் மாற்றம் நடைபெறுகிறது. ஆனால் இம்மாற்றத்தின் போக்கில் வெப்பம் வெளியிடப்படுகிறது. இவ்வெப்பம் வெப்பக்கடத்துகையின் மூலம் அடுத்து அமைந்திருக்கும் அடுக்குகளினுள்ளே பாய்கிறது. அண்டை அடுக்குகளில் வேதியியல் மாற்றம் நடைபெறுவதற்கும் இவ்வெப்பம் போதுமானதாயிருக்கிறது.

இதனுல் கூடுதல் அளவிலான வெப்பம் வெளியிடப்பட்டு, இவ்வெப்பம் அடுத்தடுத்து அமைந்திருக்கும் அடுக்குகளினுள் பாய்கிறது. ஆகவே வெப்பக்கடத்துகையைச் சார்ந்திருக்கும் வேகத்துடன் மாற்றம் பொருள் முழுமையிலும் பரவுகிறது. இப்படிப்பட்ட கடத்தலின் வேகம் 20—30 மீ/விஞடியின் அளவில் அமைந்திருக்கிறது. இது மிகவும் அதிகமான வேகமாகும். ஒரு மீட்டர் நீளமான குழாயில் அடங்கியிருக்கும் வாயு, ஒரு விஞடியின் இருபத்தில் ஒரு பகுதி நேரத்தில் வெடிக்கிறது, அதாவது கிட்டத்தட்ட உடனேயே வெடிக்கிறது. பொருளின் உள்ளேயன்றி, அதன் மேற்பரப்பில் நடைபெறும் மரம் அல்லது நிலக்கரித் துண்டுகள் எரிதல் வேகம் நிமிடத்துக்கு இத்தனை சென்டிமீட்டர்களில் அளக்கப்படுகிறது, அதாவது சில ஆயிரம் மடங்குகள் குறைந்து காணப்படுகிறது. ஆயினும் இப்படிப்பட்ட வெடித்தல் மெதுவாகவே நிகழ்கிறது எனக் கருதப்படலாம். ஏனெனில் மேலே விவரிக்கப்பட்ட வெடித்தலைக் காட்டிலும் நூற்றுக்கணக்கான மடங்குகள் அதிக வேகமாக நடைபெறும், வித்தியாசமான வெடித்தலும் சாத்தியமாகிறது.

அதிர்ச்சி அலை, வேகமான வெடித்தலுக்கு வழிவகுக்கிறது. பொருளின் ஏதேனும் ஒரு அடுக்கில் அழுத்தம் திடீரென அதிகரித்தால், இவ்விடத்திலிருந்து அதிர்ச்சி அலை பரப்பப்படுகிறது. அதிர்ச்சி அலை அதிக அளவு வெப்பநிலை ஏற்றத்துக்கு வகை செய்கிறது என்பது நாமறிந்த ஒன்றே. அதிர்ச்சி அலை அண்டை அடுக்கை அடைந்து, அதன் வெப்பநிலையை உயர்த்துகிறது. வெப்பநிலையின் அதிகரிப்பு, வெடிக்கும் மாற்றத்துக்குத் தூண்டுதலாக அமைகிறது. வெடித்தல், அழுத்தம் அதிகரிப்பதற்கு வழிவகுத்து, அதிர்ச்சி அலையை நிலைபெறச் செய்கிறது. இல்லையெனில் பயணத்தின் போது அதிர்ச்சி அலையின் செறிவு வீழ்ச்சியடைகிறது. ஆகவே அதிர்ச்சி அலை வெடித்தலுக்கு வழி

வருக்கிறது; கைமாறாக, வெடித்தல் அதிர்ச்சி அலையை நிலை பெறச் செய்கிறது.

நாம் விளக்கிக் கூறிய வெடித்தல் வகை, தூண்டு வெடி யின் வெடித்தல் (detonation) என அழைக்கபடுகிறது. தூண்டு வெடியால் விளையும் வெடித்தல், அதிர்ச்சி அலையின் வேகத்துடன் (1 கி.மீ/வினாடி அளவில்) பொருளில் பரப் பப்படுவதால், உண்மையில் "குறைந்த" வேகத்துடன் பரப் பப்படும் வெடித்தலைக் காட்டிலும் பல நூறு மடங்குகள் வேகமாகப் பரப்பப்படுகின்றன.

ஆனால் என்னென்ன பொருட்கள் "மெதுவாக" வெடிக் கின்றன? என்னென்ன பொருட்கள் "வேகமாக" வெடிக் கின்றன? இக்கேள்வி இவ்வடிவத்தில் அமைந்திருக்கக் கூடாது. "மெதுவாக" வெடிக்கும் இயல்புடைய பொருள் வித்தியாசமான சூழ்நிலைகளின் கீழ் வேகமாகவும் வெடிக் கக் கூடும்; "குறைந்த" வேகத்துடன் கூடிய வெடித்தல் சில சூழ்நிலைகளில் அதி வேகமான வெடித்தலாகவும் மாறு கிறது.

நைட்ரஜன் அயோடைடு போன்ற சில பொருட்கள் வைக் கோலுடன் சேர்ந்திருக்கும் பொழுது, சிறிதளவு சூடேற் றப்பட்டால் அல்லது ஒளிக் கற்றையின் செயற்பாட்டினால் வெடிக்கின்றன. ட்ராடில் போன்ற வெடி பொருள் கீழே எறியப்பட்டாலோ அல்லது துப்பாக்கியிலிருந்து சுடப்பட் டாலோ வெடிப்பதில்லை. இதை வெடிக்க வைப்பதற்கு ஆற் றல் வாய்ந்த அதிர்ச்சி அலை தேவைப்படுகிறது.

வெளிப்புறச் செயற்பாடுகளினால் மிகக் குறைந்த அளவே பாதிக்கப்படும் பொருட்களும் உள்ளன. 1921ம் ஆண்டில் செர்மானிய நாட்டில் ஒப்பா என்னுமிடத்தில் அமைந்தி ருந்த வேதியியல் தொழிற்சாலையில், மனதை உருக்கும் விபத்து நிகழும்வரையிலும் அம்மோனியம் நைட்ரேட், அம் மோனியம் சல்பேட் ஆகியவற்றால் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் உர

உப்பு ஒரு வெடிமருந்தாகக் கருதப்படவில்லை. கட்டி சேர்ந்துவிட்ட உப்புக்களைப் பொடியாக்குவதற்கு இங்கு வெடித்தல் சார்ந்த முறை கையாளப்பட்டது. இதன் விளை வாகச் சேமிப்புக் கிடங்கும் தொழிற்சாலையும் முழுவதும் எரிந்து சாம்பலாயின. திடீரென ஏற்பட்ட இவ்விபத்துக் குத் தொழிற்சாலையைச் சேர்ந்த பொறியியல் வல்லுநர் கள் பொறுப்பாக மாட்டார்கள். சாதாரணமாகக் கிட்டத் தட்ட இருபதினுயிரம் வெடித்தல்கள் நடைபெற்றிருக்கின் றன. ஆனல் ஒன்றில் மட்டுமே அதிவேக வெடித்தலுக்குச் சாதகமான சூழ்நிலைகள் உருவாக்கப்பட்டன.

அதிர்ச்சி அலையின் செயற்பாட்டுக்கு உட்படுத்தப்படும் பொழுது மட்டுமே வெடிக்கும் இயல்புடையதும், சாதாரண சூழ்நிலைகளில் தீயினுல் சிறிதளவேனும் பாதிக்கப்படாத பொருட்கள் வெடித்தலை உண்டாக்கும் வல்லுநர்களுக்கு மிவும் ஏற்றனவைகளாய் இருக்கின்றன. இப்படிப்பட்ட பொருட்கள் அதிக அளவில் தயாரிக்கப்பட்டு சேமித்து வைக்கப்படலாம். செயலற்ற இவ்வெடிமருந்துகளை வெடிக் கச் செய்ய வேண்டுமானல், வெடித்தலைத் தூண்டுபவர்கள் அல்லது துவக்கி வைப்பவர்கள் தேவைப்படுகிருர்கள். அதிர்ச்சி அலையின் தோற்றுவாயாக அமைவதற்கு, இப்ப டிப்பட்ட துவக்கி வைக்கும் வெடி பொருட்கள் அவசியம் தேவைப்படுகின்றன.

பாதரச பல்மினேட் (falminate) துவக்கி வைக்கும் பொருளின் உதாரணமாகப் பயன்படுகிறது. இப்பொருளின் துணுக்கு ஒன்றை வெள்ளீயத் தகட்டின் மீது வைத்துத் தீப்பற்றச் செய்தால், அத்தகட்டில் துளையை ஏற்படுத்தி வெடித்தல் நடைபெறுகிறது. எந்தச் சூழ்நிலையின் கீழும் இப்படிப்பட்ட பொருளின் வெடித்தல், அதிர்வு வெடித் தலாகவே (detonation) இருக்கும்.

இரண்டாம் நிலை வெடிமருந்து ஒன்றுடன் சேர்த்து, வைக்

கப்பட்டிருக்கும் சிறு அளவு பாதரச பல்மினேட்டைத் தீப் பற்றச் செய்தால், தூண்டுவிக்கும் பொருளின் வெடிப்பு இரண்டாம் நிலை வெடி பொருளை வெடிக்கச் செய்வதற்குப் போதுமான அதிர்ச்சி அலையை உண்டாக்குகிறது. நடைமுறையில் வெடிக்கும் பொதியுறை (detonating capsule) ஒன்றின் (1—2 கிராம் தூண்டுவிக்கும் பொருள்) உதவியால் வெடித்தல்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. உதாரணமாக, நீண்ட குச்சியின் உதவியால் (பிக்போர்டு உருகி) தூரத்திலிருந்து கொண்டே பொதியுறையைத் தீப்பற்ற வைக்கலாம். பொதியுறையிலிருந்து வெளிப்படும் அதிர்ச்சி அலை இரண்டாம் நிலை வெடிமருந்தை வெடிக்கச் செய்கிறது.

தொழில் நுட்பத் துறையில் எழும் சில உதாரணங்களில் அதிர்வு வெடித்தல் இயற்பாட்டை நிலைநிறுத்த முயற்சி செய்ய வேண்டியதிருக்கிறது. காரின் இயங்கும் எந்திரத்தில் இயல்பான சூழ்நிலையின் கீழ் பென்சீன், காற்று ஆகியவற்றாலான கலவை ''குறைந்த'' வேகத்துடன் வெடிக்கிறது. ஆயினும் சில நேரங்களில் பேரதிர்வுடன் கூடிய வெடித்தலும் நடைபெறுகிறது. மோட்டார் எந்திரத்தில் தோன்றும் அதிர்ச்சி அலைகளை முறையான இயற்பாடு என நாம் கருத முடியாது. ஏனெனில் அவை மோட்டாரினுடைய உருளையின் சுவர்களை மேலும் உபயோகிக்க முடியாதபடி பாதித்துவிடுகின்றன.

எந்திரங்களில் தோன்றும் அதிர்வு வெடித்தல்களைச் சமாளிப்பதற்காக அதிக நிர்க்கரிமத் தொடரின் எண்ணிக்கை (high octane number) யுடன் கூடிய பென்சீனை உபயோகிக்க வேண்டியதிருக்கிறது அல்லது அதிர்ச்சி அலையின் பரப்புகையைத் தடை செய்யும் பிரத்யேகப் பொருட்கள் வெடிப்புத் தடுப்புப் பொருட்கள்—உடன் பென்சீனைச் சேர்க்க வேண்டியிருக்கிறது. மிகப் பெரிய பரவலாகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வரும் வெடிப்புத் தடுப்புப் பொருள்

டெட்ரா எதில் ஈயம் (TEL) ஆகும். இது மிகவும் நச்சுத் தன்மை கொண்ட பொருளாகும். ஆகவேதான், இப்படிப் பட்ட பென்சீனை உபயோகிக்கும் பொழுது கவனமாயிருக்க வேண்டியதன் அவசியத்தைப் பற்றி ஓட்டுநர்கள் எச்சரிக் கப்படுகிறுர்கள்.

அதிர்வு வெடித்தல்களிலிருந்து முற்றிலும் விடுபட்டி ருக்கும் வகையில் போர் வீரர்கள் பயன்படுத்தும் பீரங் கிகள் அமைக்கப்படல் வேண்டும். பீரங்கிச் செயல்படும் பொழுது, பீரங்கிக் குழாயினுள் அதிர்ச்சி அலைகள் தோன் றுதல் கூடாது. இல்லையெனில் பீரங்கி உபயோகப்படுத்த முடியாத நிலையை அடைந்துவிடும்.

பதினாறு

நம்மைச் சுற்றி அமைந்திருக்கும் ஆற்றல்

ஆற்றலை வேலையாக மாற்றுவது எவ்வாறு?

மனிதர்களுக்கு இயந்திரங்கள் மிகவும் அவசியமாயிருக்கின்றன. இவ்வியந்திரங்களைப் பெறுவதற்கு அவர்கள் இயக்கத்தை ஏற்படுத்த வேண்டியதிருக்கிறது, அதாவது உந்துத் தண்டை இயக்கவும் சக்கரத்தைச் சுற்றவும் ரயிலின் வண்டித் தொடரை இழுக்கவும் வேண்டியதிருக்கிறது. இயந்திரம் இயங்குவதற்கு வேலை செய்ய வேண்டியதிருக்கிறது. இவ்வேலையை நாம் எவ்வாறு பெற முடியும்.

இக்கேள்வியைப் பற்றி நாம் ஏற்கனவே விவாதித்திருக்கிறோமோ என வாசகர்கள் நினைக்கலாம்: ஆற்றலின் செலவினால்தான் வேலை தோன்றுகிறது. பொருளிலிருந்து அல்லது பொருள்களினாலான தொகுதியிலிருந்து நாம் ஆற்றலை வெளியே கொண்டு வர வேண்டும்—அப்பொழுதுதான் நாம் வேலையைப் பெறுகிறோம்.

இவ்விதியமைப்பு மிகவும் சரியானதே, ஆனால் இத்தகைய மாற்றத்தை எவ்வாறு சாதிப்பது என்ற கேள்வியைப் பற்றி நாம் இன்னும் சிந்திக்கவில்லை. பொருளிலிருந்து ஆற்றலை வெளியே கொண்டு வருவது எப்பொழுதுமே சாத்தியமானதா? எந்தெந்தச் சூழ்நிலைகளின் கீழ் இவ்வாறு செய்ய முடியும்? நம்மைச் சூழ்ந்திருக்கும் ஆற்றல்களில்

பெரும்பாலனவை முற்றிலும் உபயோகமற்றவைகளாகவே இருக்கின்றன என்பதை நாம் இப்பொழுது தெரிந்து கொள்ள முடிகிறது. இவை வேலையாக மாற்றப்பட முடியாதவையாகும். இப்படிப்பட்ட ஆற்றல் எவ்விதத்திலும் நமது ஆற்றலின் சேம ஒதுக்கீடுகளின் வரிசையில் இடம் பெற முடியாததாகும். இதனைப் பற்றி நாம் பரிசீலிப்போம்.

சமநிலையிலிருந்து விலக்கப்பட்டிருக்கும் ஊசிலி உடனேயோ அல்லது சற்றுப் பின்னரோ ஓய்வுநிலைக்கு வருகிறது. தலைகீழாக நிறுத்தப்பட்டிருக்கும் சைக்கிளின் சக்கரத்தைக் கையினால் சுற்றிவிட்டால், அது வேகமாகச் சுழல்கிறது, ஆனால் முடிவில் அதன் இயக்கமும் நின்றுவிடுகிறது. எல்லா இயற்பாடுகளும் கீழ்வரும் முக்கியமான விதிக்குட்பட்டே நடைபெறுகின்றன. நம்மைச் சுற்றித் தன்னியல்பாகவே இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் எல்லாப் பொருட்களும் முடிவாக ஓய்வுநிலைய அடைகின்றன.*

ஒரு பொருள் சூடேற்றப்பட்டதாகவும் மற்றொன்று குளிர்ந்ததாகவும் இரு பொருட்கள் இருந்தால், இரு பொருட்களின் வெப்பநிலைகளும் சமமாகும் வரையிலும் சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளுக்கு வெப்பம் கடத்தப்படுகிறது. பின்னர் வெப்பம் கடத்துதல் நிறுத்தப் பட்டுவிடும். பொருட்களின் நிலைகள் மாறாமல் இருக்கும். வெப்பச் சமநிலை உண்டாக்கப்படும்.

பொருட்கள் சமநிலையிலிருந்து தன்னியல்பாகவே விடுபட்டுச் செல்வதைக் குறிக்கும் இயற்பாடு எதுவும் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை. அச்சுடன் இணைக்கப்பட்டு ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் சக்கரம் தானாகவே சுழலுவதை நாம் எங்குமே பார்த்திருக்க முடியாது. அல்லது எழுதும் மேசையின்

* பொருட்களின் தொகுதி முழுவதுமாக, சீரான வட்ட இயக்கம் அல்லது சீரான மாறியல் இயக்கத்தில் ஈடுபட்டிருப்பதை நாம் மனதில் கொண்டிருக்கவில்லை.

மீது பொருத்தப்பட்ட மைக்கூடு தானுகவே வெப்பமடை வ தும் இயல்பான நிகழ்ச்சி அல்ல.

சமநிலையை நோக்கிய போக்கு, நிகழ்ச்சிகள் இயல்பான முறையிலேயே நடைபெறுகின்றன என்பதைக் குறிப்பால் உணர்த்துகிறது: சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளை நோக்கி வெப்பம் பாய்கிறது. ஆனுல் வெப்பம் குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து சூடான பொருளுக்குத் தன்னி யல்பாகக் கடந்து செல்ல முடியாது.

காற்றுத் தடை, சுழற்சித் தானத்தில் செயல்படும் உராய்வு ஆகியவற்றினுல், அலைவு செய்து கொண்டிருக்கும் ஊசிலியின் எந்திர ஆற்றல் வெப்பமாக மாற்றப்படுகிறது. ஆனுல் எந்தச் சூழ்நிலையிலும் சுற்றியிருக்கும் ஊடகத்தின் வெப்ப இழப்பினுல் ஊசிலி அலைவு செய்ய ஆரம்பிக்காது. பொருட்கள் சமநிலைக்கு வருகின்றன. ஆனுல் அச்சமநிலை யிலிருந்தும் அவை தன்னியல்பாக விடுபட்டுச் செல்ல முடி யாது.

நம்மைச் சூழ்ந்திருக்கும் ஆற்றலில் எந்தப் பகுதி முழு வதும் உபயோகமற்றதாக இருக்கிறது என்பதை இயற் கையின் இவ்விதி உடனேயே நமக்கு எடுத்துக் காட்டுகிறது. இது, சமநிலையிலிருக்கும் பொருட்களில் அடங்கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் வெப்பவியக்க ஆற்றலேயாகும் எனத் தெரியவருகிறது. இப்படிப்பட்ட சமநிலையிலிருக்கும் பொருட்கள் அவற்றின் ஆற்றலை இயந்திரவியல் இயக்க மாக மாற்ற முடிவதில்லை.

இவ்வகையைச் சேர்ந்த ஆற்றல் மிக அதிக அளவில் காணப்படுகிறது. ''உபயோகமற்ற'' இந்த ஆற்றலின் மதிப்பை நாம் கணக்கிடுவோம். வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி குறைக்கப்பட்டால், 0.2 கி.கலோரி/கி.கி என்னும் மதிப்பு டைய வெப்பக் கொண்மையைக் கொண்டுள்ள பூமியின் 1 கிலோகிராம் பொருண்மை 0.2 கி.கலோரி வெப்பத்தை

இழக்கிறது. சார்பாக நோக்கினுல், இது ஒரு சிறிய எண்ணுகத் தோன்றலாம். ஆயினும் பூமியின் பொருண்மையைக் கொண்டுள்ள, அதாவது 6×10^{24} கி.கி என்னும் பொருண்மையையுடைய இத்தகைய பொருளின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி மட்டுமே குறைப்பதனுல் நாம் பெறும் ஆற்றலின் அளவு என்ன என்பதை மதிப்பிடுவோம். 0.2 கி. கலோரியை இப்பெரிய எண்ணுல் பெருக்கினுல், 1.2×10^{24}கி. கலோரி என்னும் மிகப் பெரிய எண்ணை நாம் பெறுகிருேம். இதன் மதிப்பைத் தெளிவாகப் புரிந்து கொள்வதற்காகக் கீழ்வரும் குறிப்பைத் தருகிருேம். இன்று, உலகத்தில் உள்ள எல்லா மின் ஆற்றல் நிலையங்களிலிருந்தும் வெளிவரும் வருடாந்திர ஆற்றல் 10^{15}—10^{16} கி.கலோரிக்குச் சமமாயிருக்கிறது. அதாவது மேலே குறிப்பிடப்பட்டிருக்கும் மதிப்பைவிட இது கிட்டத்தட்ட ஒரு பில்லியன் மடங்குக் குறைவானதாகும்.

இக்கணக்கீடு சரியாகப் புரிந்து கொள்ளாத கண்டுபிடிப்பாளர்களின் ஆவலை வெகுவாகத் தூண்டுவிடுகிறது என்ற உண்மையைக் கண்டு நாம் ஆச்சரியம் கொள்ளத் தேவையில்லை. தோற்றுவாய் எதுவும் இல்லாமலேயே வேலையை உண்டாக்கக்கூடிய நிரந்தரமான மோட்டாரை அமைப்பது பற்றி நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கிருேம். ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியிலிருந்தும் தருவிக்கப்பட்ட இயற்பியலின் அடிப்படையான முன்மொழியுரைகளுடன் செயல்படும் பொழுது, நிரந்தர மோட்டாரை (இதை முதல்வகை நிரந்தரமான மோட்டார் என நாம் அழைப்போம்) அமைப்பதனுல், ஒருவர் இவ்விதியைத் தவறு என நிலைநாட்டிவிட முடியாது. ஊடகத்தைக் குளிர்விப்பதன் மூலமாக மட்டுமே இயந்திரவியல் இயக்கத்தை மேற்கொள்ளும் எந்திரங்களின் மாதிரிகளை ஏற்படுத்திய சில புத்திசாலி கண்டுபிடிப்பாளர்கள் கூட, இதே வகையான தவறுகளைச் செய்தார்கள். நடை

முறையில் சாத்தியமாகாத இப்படிப்பட்ட எந்திரங்கள் இரண்டாம் வகையைச் சேர்ந்த நிரந்தர மோட்டார்கள் என அழைக்கப்பட்டன. இதிலும் பகுத்தறிவுக்குப் பொருத்தமான தவறு நிகழ்ந்திருக்கிறது; ஏனெனில் இதனைக் கண்டுபிடித்தவர், எல்லாப் பொருட்களும் சமநிலையை நோக்கிச் செயல்படுகின்றன என்ற விதியின் பயனுல் ஏற்பட்ட இயற்பியல் விதிகளையே முழுவதுமாகச் சார்ந்திருந்தார். மேலும், இவ்விதிகளின் உதவியால் இவ்விதிகளின் அஸ்திவாரத்தைத் தவறென நிலைநாட்டுவதற்கு முயற்சி செய்தார்.

இவ்வாறுக, ஊடகத்திலிருந்து வெப்பத்தை எடுப்பதன் மூலமாக மட்டும் வேலையை உண்டாக்குவது சாத்தியமானதல்ல. வேறுவிதமாகக் கூறினுல், ஒவ்வொன்றும் மற்றவைகளுடன் சமநிலையிலிருக்கும் பொருட்களாலான தொகுதி, ஆற்றலைப் பொறுத்தமட்டில் பலன் தராத ஒன்றுகும்.

ஆகவே வேலையைப் பெற வேண்டுமானுல், முதலாவதாக அண்மையில் இருக்கும் பொருட்களுடன் சமநிலையில் இல்லாத பொருட்களைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. அப்பொழுதுதான், ஒரு பொருளிலிருந்து மற்றொரு பொருளுக்கு வெப்பத்தைக் கடத்தும் செயல்முறையை அல்லது வெப்பத்தை எந்திர ஆற்றலாக மாற்றும் செயல்முறையை நடைமுறைக்குக் கொண்டு வருவதில் நாம் வெற்றி காண முடியும்.

ஆற்றல் பாயத்தை உருவாக்குவதே வேலையைப் பெறுவதற்கு அவசியமான நிபந்தனையாகும். இப்படிப்பட்ட பாயத்தின் ''பாதையில்'' பொருட்களின் ஆற்றலை வேலையாக மாற்றுவது சாத்தியமாகிறது.

ஆகவே சுற்றியிருக்கும் ஊடகத்துடன் சமநிலையில் இல்லாத பொருட்களின் ஆற்றல் மட்டுமே மனித குலத்துக்குப் பயன்படும் ஆற்றலின் கையிருப்பாகக் கருதப்படுகிறது.

ஒழுங்கற்ற நிலையை நோக்கிய போக்கு

வெளிப்புறத் தொடர்பு இன்றி விட்டுவைக்கப்பட்ட பொருட்கள் சமநிலையை நோக்கிச் செல்கின்றன. எந்திர வியல் சமநிலையும் வெப்பச் சமநிலையும் எல்லாப் பொருட்க ளுக்கும் உரிய இயல்பான நிலைகளாகும். இம்முக்கியமான விதியின் நடைமுறை விளைவுகளைப் பற்றி நாம் முன்னரே மிகத் தெளிவாக எடுத்துக் கூறியிருக்கிறோம்.

ஆனால் இவ்விதியின் உள்ளார்ந்த முக்கியத்துவம் என்ன? உலகம் முழுவதுமே சமநிலையை நோக்கிச் செல்கிறதே. ஏன்? வெளிப்புறத் தொடர்பின்றி விட்டுவைக்கப்பட்ட பொருட்கள், இயந்திரவியல் இயக்கம் இன்றி, பொருட் களின் வெப்பநிலைகள் சமப்படுத்தப்பட்டிருக்கும் நிலையை அடைவது ஏன்?

இக்கேள்விகள் முக்கியமானவைகளாகவும் நம் கவனத்தை ஈர்ப்பவைகளாகவும் இருக்கின்றன. இவற்றிற்குப் பதிலளி க்க வேண்டுமானால், நாம் மிகவும் முன்னால் இருந்து விவாதத்தைத் தொடங்க வேண்டும்.

ஒவ்வொரு நாளும் அடிக்கடி நிகழக்கூடிய நிகழ்ச்சிகள் ஒவ்வொரு முறையும் நிகழ்கின்றன. அவை **நிகழக்கூடியவை** (probable) இதற்கு மாறாக, மிக அரிதாக நிகழக்கூடிய நிகழ்ச்சிகள் இயல்பாக **நிகழக்கூடாதவை** எனக் கருதப்படு கின்றன.

இயல்பாக நிகழக்கூடாத நிகழ்ச்சிக்கு மனிதனுக்கப்பாற் பட்ட விசைகளின் செயற்பாடு தேவைப்படுவதில்லை. இந் நிகழ்ச்சிகள் சாத்தியமானவை என்றோ அல்லது இயற்கையின் விதிகளுக்கு முரணானவை என்றோ நாம் கூற முடியாது. இருப்பினும் பெரும்பாலான நிகழ்ச்சிகளில் இயல்பாக நிகழக்கூடாதவை சாத்தியமாகாதவை என்றே நாம் திட்டவட்டமாகக் கூறிவிடலாம்.

லாட்டரி பரிசு அட்டவணையைப் பரிசீலிப்போம். 4,5 அல்லது 6 என்ற முடிவு எண்களைக் கொண்ட பரிசு பெறும் டிக்கெட்டுகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடவும். பரிசு பெறும் டிக்கெட்டுகளின் எண்ணிக்கையில் கிட்டத்தட்ட பத்தில் ஒரு பகுதி, ஒவ்வொரு எண்ணுக்கும் உரியதாக இருக்கிறது என்பதைக் காணும் பொழுது, நாம் சிறிதளவேனும் ஆச்சரியமடைவதில்லை.

ஆனல் 5 என்ற எண்ணுடன் முடியும் டிக்கெட்டுகள், பரிசு பெற்றவைகளில் பத்தில் ஒரு பகுதிக்குப் பதிலாக ஐந்தில் ஒரு பகுதியாக இருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். இது பெரும்பாலும் நிகழக்கூடிய காரியம் அல்ல. சரி. பரிசு பெற்ற டிக்கெட்டுகளில் பாதி இவ்வாறு ஐந்துடன் முடியும் எண்களைக் கொண்டிருக்கலாமா? இல்லை. இது முற்றிலும் நிகழக்கூடியதல்ல..., ஆகவே இது சாத்தியமானல்ல.

நிகழ்ச்சி நிகழக்கூடியதாய் இருப்பதற்கு என்னென்ன நிபந்தனைகள் அவசியமாயிருக்கின்றன என்பதைப் பரிசீலித்த்து, நாம் கீழ்வரும் முடிவுக்கு வருகிறோம்: நிகழ்ச்சியின் நிகழ்திறம், அந்நிகழ்ச்சி செயல்படுத்தப்படும் முறைகளின் எண்ணிக்கையைச் சார்ந்திருக்கிறது. இதன் எண் பெரியதாக இருந்தால், இத்தகைய நிகழ்ச்சி மிக அடிக்கடி நிகழும்.

மிகச் சரியாகக் கூறினல், **நிகழ்திறம்** என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட நிகழ்ச்சியைச் செயல்படுத்தும் முறைகளின் எண்ணிக்கைக்கும் சாத்தியமாகும் எல்லா நிகழ்ச்சிகளையும் செயல்படுத்தும் முறைகளின் எண்ணிக்கைக்கும் இடையேயான விகிதமாகும்.

அட்டைப்பலகையிலான பத்து வட்டவடிவத் தகடுகளில் 0 லிருந்து 9 வரை எண்களை எழுதி, அவற்றைக் கோணிப்பையினுள் போடவும். இப்பொழுது அவற்றிலிருந்து

தகட்டை எடுக்கவும். அதன் எண்ணைக் குறித்துவிட்டுத் திரும்பவும் அதைக் கோணிப்பையினுள் போட்டுவிடவும். இது லாட்டரி குலுக்கல் முறையை வெகுவாக ஒத்திருக்கிறது. மாலைப் பொழுது முழுவதும் சலிப்புத்தட்டக்கூடிய இச்செயலில் ஈடுபட்டாலும் ஏதாவது ஒரு எண்ணை நாம் வரிசையாக ஏழு முறை பெற முடியாது என்பதைத் திட்டவட்டமாகக் கூறிவிடலாம். ஏன்? ஏழு ஒத்த எண்களை எடுப்பது பத்து முறைகளில் மட்டுமே நிகழக்கூடிய நிகழ்ச்சியாகும்: (7 பூச்சியங்கள், 7 ஒன்றுகள், 7 இரண்டுகள்...). ஆனால் ஏதாவது ஏழு தகடுகளை எடுப்பது 10^7 முறைகளில் சாத்தியமாகிறது. ஆகவே வரிசையாக ஒரே எண்ணை ஏழு தடவை எடுத்தலின் நிகழ்திறம் $10/10^7=10^{-6}$, அதவது மில்லியனில் ஒரு பகுதிக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

கறுப்புத் தானியங்களையும் வெள்ளைத் தானியங்களையும் பெட்டியினுள் போட்டு வாரிவிட்டால், சீக்கிரமே பெட்டி முழுவதும் அவை ஒரே சீராகப் பரவியிருக்கின்றன. ஏதாவது ஒரு பகுதியிலிருந்து கை அளவு தானியங்களை எடுத்துப் பரிசீலித்தால், அதில் கிட்டத்தட்ட சம எண்ணிக்கையிலான வெள்ளைத் தானியங்களும் கறுப்புத் தானியங்களும் இருப்பதை நாம் பார்க்கிறோம். நாம் எத்தனை முறை வாரிவிட்டாலும் முடிவு ஒன்றாகவே இருக்கிறது—ஒரே சீராகப் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன. ஆனால் தானியங்கள் பிரிவீடு செய்யப்படவில்லையே. ஏன்? நெடுநேரம் வாரிவிடுவதன் மூலமாகக் கறுப்புத் தானியங்களைப் பெட்டியின் மேற்பகுதிக்குச் செல்லுமாறும் வெள்ளைத் தானியங்களை அதன் அடிப்பகுதிக்குச் செல்லுமாறும் செய்வதில் நாம் வெற்றியடையவில்லையே. ஏன்? இதுவும் முழுவதும் நிகழ்திறம் சார்ந்ததாகவே இருக்கிறது. தானியங்கள் ஒழுங்கற்ற முறையில் பரப்பப்பட்டிருக்கும் நிலை, அதாவது வெள்ளைத் தானியங்களும் கறுப்புத் தானியங்களும் ஒரே சீராகக் கலந்தி

ருக்கும் நிலை மிக அதிக எண்ணிக்கையிலான முறைகளில் பெறப்படலாம். ஆகவே இந்நிலை மிகவும் அதிகமான நிகழ்திறத்தைக் கொண்டிருக்கிறது. இதற்கு மாறாக, வெள்ளைத் தானியங்கள் முழுவதும் மேற்பகுதியிலும் கறுப்புத் தானியங்கள் யாவும் அடிப்பகுதியிலும் அமைந்திருக்கும் நிலை தனித்தன்மை வாய்ந்ததாகும். ஆகவே இதைச் செயலாக்குவதன் நிகழ்திறம் மிகவும் குறைந்ததாயிருக்கிறது.

கோணிப்பையிலிருக்கும் தானியங்களைப் பற்றிப் பரிசீலித்த பின்னர் பொருட்கள் ஆக்கப்பட்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளிடம் நம் சிந்தனையை எளிதில் கொண்டு செல்ல முடிகிறது. மூலக்கூறுகளின் இயக்கங்கள் தற்செயல் நிகழ்வுக்குட்பட்டவையே. குறிப்பாக வாயுக்களைப் பொறுத்தமட்டில் இதை நாம் தெளிவாகக் காண முடிகிறது. வாயு மூலக்கூறுகள் எதேச்சையாக மோதிக் கொள்கின்றன. சாத்தியமாகும் எல்லாத் திசைகளிலும் அவை இயங்கிச் செல்கின்றன. மோதலுக்கு முன்னால் ஒரு வேகத்துடனும் அதற்குப் பின்னர் மற்றொரு வேகத்துடனும் இயங்குகின்றன என்பனவற்றை நாம் ஏற்கனவே அறிந்திருக்கிறோம். முடிவேயில்லாத, இவ்வெப்ப இயக்கம் தொடர்ந்து மூலக்கூறுகளை இடம் பிறழச் செய்கிறது. வாரிவிடுவதால் பெட்டியில் இருக்கும் தானியங்கள் கல கலப்பது போன்று இம்மூலக்கூறுகளும் கலந்து விடுகின்றன.

நாம் அமர்ந்திருக்கும் அறையில் காற்று நிரம்பியிருக்கிறது. ஏதாவது ஒரு நேரத்தில் அறையின் கீழ்பாதியிலிருக்கும் காற்று, கூரைக்குக் கீழே இருக்கும் மேல் பாதியை அடையும் நிகழ்ச்சி நடைபெற முடியாதா? இத்தகைய செயல்முறை சாத்தியமானதல்ல என்று கூற முடியாது. ஆனால் பெரும்பாலும் நிகழக்கூடாததாகும். பெரும்பாலும் நிகழக்கூடாதது என்பதன் அர்த்தம் என்ன? இப்படிப்பட்ட செயற்பாடு மூலக்கூறுகளின் ஒழுங்கற்ற பரப்பீட்டைக் காட்

டிலும் ஒரு பில்லியன் மடங்குகள் குறைந்த நிகழ்திறத்துடன் நடைபெற்ருலும்] கூட இவ்வியற்பாட்டை யாரேனும் காட்சிப்பதிவு செய்யக் கூடும். இத்தகைய இயற்பாட்டை உண்மையில் நாம் காட்சிப்பதிவு செய்வோமோ?

1 செ.மீ^{3} கன அளவுடைய பாத்திரத்தில் இத்தகைய நிகழ்ச்சி ஒவ்வொரு $10^{3\times10^{19}}$ நிகழ்ச்சிகளிலும் ஒரு நிகழ்ச்சியாக நடைபெறுகிறது என்பதைக் கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. இது ''பெரும்பாலும் நிகழக்கூடாதவை'', ''சாத்தியமாகாதவை'' என்ற இரு சொற்களுக்குமிடையே உள்ள வித்தியாசத்தை எடுத்துக் காட்டுகிறது. ஏனெனில் மேலே எழுதப்பட்டிருக்கும் எண் நம் கற்பனைக்கு எட்டாத அளவுக்கு மிகப் பெரியதாகும். இதை, பூமியில் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையால் மட்டுமின்றி, சூரியத்தொகுதி முழுமையிலும் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையால் வகுத்தாலும் கூட இது பெரிய எண்ணுகவே இருக்கும்.

ஆனுல் வாயு மூலக்கூறுகளின் நிலை என்ன? பெரும்பாலும் நிகழக்கூடியதாகும். மிக அதிகமான முறைகளில் கைகூடக்கூடிய நிலையே பெரும்பாலும் நிகழக்கூடிய நிலையாகும், அதாவது பாத்திரத்தின் மேற்பாதியிலும் கீழ்பாதியிலும் வேகம் அதிகமான மூலக்கூறுகளும் வேகம் குறைந்த மூலக்கூறுகளும் ஒரே வீதத்தில் அமைந்திருந்து, எல்லாச் சம கன அளவுகளிலும் அடங்கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை சர்வசமமாயிருக்கும், மூலக்கூறுகளின் ஒழுங்கற்ற பரப்பீட்டு நிலையாகிய, கிட்டத்தட்ட சம எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறுகள், வலப்புறம் நோக்கியும் இடப்புறம் நோக்கியும் மேல் நோக்கியும் கீழ் நோக்கியும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் நிலையே பெரும்பாலும் நிகழக்கூடிய ஒன்ருகும். இத்தகைய ஒழுங்கற்ற நிலையிலிருந்து, அதாவது அமைவிடம், திசைவேகம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தமட்டில் மூலக்கூறுகளின் சீரான, ஒழுங்கற்ற கலத்

தலிலிருந்து விலகியிருக்கும் எந்த நிலையும் ஒழுங்கற்ற நிகழ்திறத்தையே கொண்டிருக்கும் அல்லது, மிகச் சரியாகக் குறிப்பிட்டால். இது நிகழக்கூடாத நிகழ்ச்சியாகும்.

இதற்கு மாருக, ஒழுங்கான பரப்பீட்டிலிருந்து ஒழுங்கற்ற நிலையை உருவாக்கும், மூலக்கூறுகளின் கலத்தலால் ஏற்படும் இயற்பாடுகள் நிலையின் நிகழ்திறத்தை அதிகரிக்கச் செய்கின்றன.

ஆகவே இவ்வியற்பாடுகளே நிகழ்ச்சிகளின் இயல்பான போக்கைத் தீர்மானிக்கின்றன. இரண்டாவது வகையைச் சேர்ந்த தானியங்கும் எந்திரம் சாத்தியமாகாதது என்ற விதியும் எல்லாப் பொருட்களும் சமநிலையை நோக்கிச் சென்று கொண்டிருக்கின்றன என்ற விதியும் அவற்றிற்குரிய விளக்கங்களைப் பெறுகின்றன. இயந்திரவியல் இயக்கம் வெப்ப இயக்கமாக மாற்றப்படுவது, ஏன்? ஏனெனில், இயந்திரவியல் இயக்கம் ஒழுங்காக நடைபெறுகிறது, ஆனுல் வெப்ப இயக்கம் ஒழுங்கற்ற முறையில் நடைபெறுகிறது. ஒழுங்கான அமைப்பிலிருந்து ஒழுங்கற்ற அமைப்புக்கு மாறிச் செல்லும் பொழுது, நிலையின் நிகழ்திறம் அதிகரிக்கிறது.

இயற்பியல் அறிஞர்கள் துணைக் கணியமாகிய என்ட்ரொபி (entropy)யை அடிக்கடி பயன்படுத்துகின்றனர். என்ட்ரொபி ஒழுங்கு முறையின் அளவைக் குறிக்கிறது. இது நிலைகளை உருவாக்கும் முறைகளின் எண்ணிக்கையுடன் எளிய முறையில் சம்பந்தப்பட்டிருக்கிறது. இச்சூத்திரத்தை நாம் இங்குத் தரப் போவதில்லை. ஆனுல் நிகழ்திறம் அதிகமாயிருந்தால், என்ட்ரொபியும் அதிகமாயிருக்கும் என்பதை மட்டும் இங்கு நாம் குறிப்பிடுவோம்.

நாம் இப்பொழுது விவாதித்துக் கொண்டிருக்கும் இயற்கையின் விதி கீழ்வருவனவற்றை உறுதியுடன் கூறுகிறது: நிலையின் நிகழ்திறம் அதிகரிக்கும் வகையில் எல்லா இயற்கையின் செயல்முறைகளும் நடைபெறுகின்றன. வேறுவித

மாகக் குறிப்பிட்டால், இயற்கையின் இவ்விதியை என்ட்ரொபியின் அதிகரிப்பு விதியாக மாற்றியமைக்கலாம்.

என்ட்ரொபியின் அதிகரிப்பு விதி இயற்கையின் முக்கிய விதியாகும். குறிப்பாக, இரண்டாம் வகையைச் சேர்ந்த நிரந்தரமான மோட்டாரை அமைப்பது சாத்தியமானதல்ல அல்லது வெளிப்புறத் தொடர்பின்றி விட்டு வைக்கப்பட்ட பொருட்கள் சமநிலையை நோக்கிச் செல்கின்றன என்பது இவ்விதியிலிருந்தும் தெரியவருகிறது.

என்ட்ரொபியின் அதிகரிப்பு விதி சில நேரங்களில் **வெப்ப இயக்கவியலின்** (thermodynamics) *(**வெப்பவியக்கவியல்** என்பது வெப்பத்தைப் பற்றிய ஆய்வாகும்)* **இரண்டாவது விதி** என அழைக்கப்படுகிறது. ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியே முதல் விதியாகும்.

இயற்கையின் இவ்விதிகள் வரலாற்று ரீதியாக வடிவம் பெற்றதால், ''வெப்ப இயக்கவியலின் விதிகள்'' என்னும் பெயர் பெற்றன. ஒரே தலைப்பின் கீழ் பல விதிகள் இடம் பெற்றிருப்பது அனுகூலமானதாகும் என நாம் கூற முடியாது. ஏனெனில் ஆற்றலின் அழிவின்மை விதியானது தனித் தனி அணுக்கள், மூலக்கூறுகள், பெரிய பொருட்கள் ஆகியவற்றுக்கு உள்ளடக்கமாகப் பொருந்தும் எந்திரவியல் விதியாகும். ஆனால் என்ட்ரொபியின் அதிகரிப்பு விதியைப் பொறுத்தமட்டில் அதிக எண்ணிக்கையிலான பொருட்களின் தொகுதிகளுக்கே இது ஏற்றதாகவே தவிரத் தனித்தனி மூலக்கூறுகளுக்கு இதைப் பயன்படுத்துவது சாத்தியமாவதில்லை என்பது மேற்கூறியவைகளிலிருந்தும் தெரியவருகிறது.

வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாவது விதியின் புள்ளி விவரத் தொகுப்பியல் சார்ந்த பண்பு (அதிக எண்ணிக்கையிலான பொருட்களின் தொகுதிக்கு ஏற்றது என்பது பொருளாகும்) இதன் முக்கியத்துவத்தை எவ்வகையிலும்

குறைக்கவில்லை. என்ட்ரொபியின் அடிப்படை விதி, செயல் முறைகளின் திசையை முன்கூட்டியே தீர்மானிக்கிறது. இக் கருத்தின்படி என்ட்ரொபியை இயற்கை வளத்தின் செயல் நெறியாளர் எனவும் ஆற்றலை அதன் கணக்கெடுப்பாளர் எனவும் அழைக்கலாம்.

இயற்கையின் இம்முக்கிய விதியைக் கண்டுபிடித்த பெருமைக்குரியவர் யார்? இப்பெருமை தனித்த ஒருவரை மட்டும் சேர்ந்ததல்ல. வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டா வது விதி தனது வரலாற்றையே கொண்டிருக்கிறது.

வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதியின் வரலாற்றைப் போலவே இங்கும் பிரெஞ்சுக் காரராகிய சாடி கார்னோ என்பவரின் பெயரை முதலாவதாகக் குறிப்பிட வேண்டும். அவர் 1824ம் ஆண்டில் ''தீயின் இயக்க சக்தி பற்றிய சிந் தனைகள்'' என்ற ஆராய்ச்சிக் கட்டுரையை அவருடைய சொந்தச் செலவிலேயே வெளியிட்டார். வேலையை உட் கொள்ளாமல் குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து வெப்பம் சூடான பொருளுக்குக் கடந்து செல்ல முடியாது என்பது முதன் முதலாக இக்கட்டுரையில் தெளிவாக விளக்கப்பட்டிருந் தது. வெப்ப எந்திரத்தின் அதிகப் பட்சத் திறன் சூடான ஊடகம், குளிர்ந்த ஊடகம் ஆகியவற்றின் வெப்பநிலைக ளின் வித்தியாசத்தால் மட்டுமே தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

1832ம் ஆண்டில் கார்னோ மறைந்த பின்னரே ஏனைய இயற்பியல் அறிஞர்கள் இவ்வாராய்ச்சியின் மீது கவனம் செலுத்தினர்கள். ஆயினும் அறிவியல் மேற்கொண்டு வளர் ச்சியடைவதற்கு இது அவ்வளவாக உதவவில்லை. ஏனெனில் கார்னோவின் குறிப்புகள் அனைத்தும், அழிக்க முடியாததும் உண்டுபண்ண முடியாததும் ஆகிய கலோரிக் என்னும் ''பொருளை'' ஏற்றுக் கொண்டதன் அடிப்படை யிலேயே அமைந்திருந்தன.

வெப்பம், வேலை ஆகியவற்றுக்கிடையேயான இணை

மாற்ற விதியை உறுதிப்படுத்திய மேயர், ஜூல், ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் முதலானவர்களின் ஆராய்ச்சிக்குப் பின்னர் மிகச் சிறந்த செருமானிய இயற்பியல் அறிஞராகிய ருடொல்ப் கிளாசியுஸ் (1822—1888) என்பவர் வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாவது விதியைக் கண்டுபிடித்து, அதைக் கணிதவியலின் மூலம் வகைப்படுத்தினர். கிளாசியுஸ், என்ட்ரொபி என்ற இயற்பாட்டை அறிமுகப்படுத்தி, எல்லா நடைமுறைச் செயல்முறைகளிலும் வெப்பவியலின் இரண்டாம் விதியின் சாரம், என்ட்ரொபியின் தவிர்க்க முடியாத அதிகரிப்பாகவே இருக்கிறது என்பதை நிரூபித்தார்.

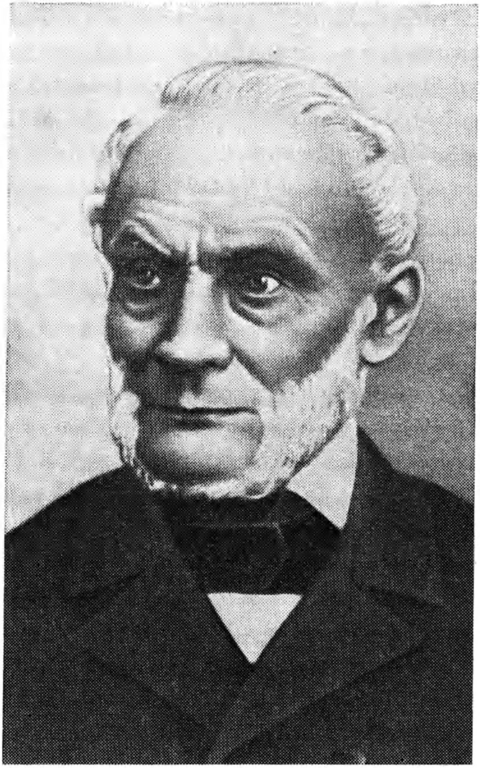
பொருட்களின் இயல்பமைப்புகள் எப்படியிருப்பினும், அவை எல்லாவற்றுக்கும் பொருந்தும் சில பொது விதிகளை அமைப்பதற்கு வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாவது விதி நமக்கு உதவுகிறது. ஆயினும் பொருளின் இயல்பமைப்புக்கும் அதன் பண்புகளுக்கும் இடையே எவ்வாறு தொடர்பு ஏற்படுத்துவது என்ற கேள்விக்கு இன்னும் பதில் காண வேண்டியிருக்கிறது. புள்ளித் தொகுப்பு இயற்பியல் (statistical physics) என அழைக்கப்படும் இயற்பியலின் பிரிவு இக்கேள்விக்கான பதிலைத் தருகிறது.

கற்பனைக்கு எட்டாத அதிக எண்ணிக்கையிலான துகள்களைக் கொண்ட தொகுதியை விவரிக்கும் இயற்பியல் கணியங்களைக் கணக்கிடும் பொழுது, முற்றிலும் புதிய அணுகுமுறை தேவைப்படுகிறது என்பது தெரியவருகிறது. உண்மையில் எல்லாத் துகள்களின் இயக்கங்களையும் பின் தொடர்ந்து செல்வது முற்றிலும் சாத்தியமானது என்பதும் ஆகவே எந்திரவியல் சூத்திரங்களின் உதவியால் இவ்வியக்கத்தை விவரித்துக் கூறலாம் என்று கூறுவதும் அர்த்தமற்றதாகும். துகள்களின் அதிக எண்ணிக்கையே மிகச் சரியாகக் கூறினுல், பொருட்களைப் பற்றிய ஆய்வுக்குப் புதிய

''புள்ளித் தொகுப்பியல்'' முறைகளை மேம்படுத்து வதற்குக் காரணமாக அமைகிறது. இம்முறைகள் நிகழ்ச் சிகளின் நிகழ்திறம் என்னும் இயற்பாட்டைப் பெருமளவாகப் பயன்படுத்துகின்றன. புள்ளித் தொகுப்பு இயற்பியலின் அடிப் படைகள் தலைசிறந்த ஆஸ்திரிய இயற்பியல் அறிஞராகிய லுட்விக் போல்ட்ஸ்மேன் (1844—1906) என்பவரால் நிறு வப்பட்டன. குறிப்பிடப்பட்ட அமைப்புத்திட்டம் வாயுக் களுக்கு எவ்வாறு பயன்படுத்தப்பட வேண்டும் என்பதைப் போல்ட்ஸ்மேன் அவருடைய சில ஆராய்ச்சிக் கட்டுரைக ளின் வரிசையில் விரிவாகக் குறிப்பிட்டிருக்கிறார்.

1877ம் ஆண்டில் போல்ட்ஸ்மேனால் கொடுக்கப்பட்ட வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாவது விதியின் புள்ளித் தொகுப்பியல் சார்ந்த விளக்கவுரை, இவ்வாராய்ச்சிகளின் மொத்த சாரமாகும். தொகுதியின் நிலைக்குரிய என்ட் ரொபியை நிகழ்திறத்துடன் சம்பந்தப்படுத்தும் சூத்திரம் போல்ட்ஸ்மேனின் கல்லறைக் கல்லின் மீது பொறிக்கப் பட்டிருக்கிறது. கோட்பாட்டியாலான இயற்பியலில் முற் றிலும் புதிய வழிகளைக் கண்டுபிடித்த போல்ட்ஸ்மேனின் அறிவியல் சாதனைகளை மிகைப்படுத்திக் கூறுவது கடினமா கும். போல்ட்ஸ்மேன் உயிருடன் இருக்கும் போது, பழமை யைப் பேணும் செருமானிய பேராசிரியர்கள் அவருடைய ஆராய்ச்சி முடிவுகளைப் பார்த்து எள்ளிநகையாடினர்: அக் காலத்தில் அணு, மூலக்கூறுகள் முதலியவை சம்பந்தப்பட்ட கருத்துக்கள் பலராலும் ஏற்றுக் கொள்ள முடியாதவைக ளாய் இருந்தன. போல்ட்ஸ்மேன் தற்கொலை செய்து கொண்டார்; இதில் அக்காலச் சூழ்நிலை பெரும் பங்கு ஆற் றியது.

புள்ளித் தொகுப்பு இயற்பியலின் அமைப்பு, தலைசிறந்த அமெரிக்க இயற்பியல் அறிஞராகிய ஜோசையா வில்லார்டு



ரூடொல்ப் க்ளாசியுஸ் *(1822—1888)*: இவர் ஒரு தலைசிறந்த செருமானிய கோட்பாட்டியல் இயற்பியல் அறிஞராவர். முதலில் *1850* ஆம் ஆண்டில் வெப்பம் தானுகவே குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து சூடான பொருளை வந்தடைவது சாத்திய மானதல்ல என்ற கருத்தின் மூலமாகவும் பின்னர் *1865* ஆம் ஆண்டில் என்ட்ரொபி என்னும் இயற்பாட்டின் உதவியாலும் இவர் வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதியை முதன் முதலில் முறைப்படி வகைப்படுத்திஞர். என்ட்ரொபி என்

கிஸ்ப் (1839—1903) என்பவரின் ஆராய்ச்சியில் முழுமை பெற்றது.

கிப்ஸ், போல்ட்ஸ்மேனின் முறைகளைப் பொது விதி யின் உருவுக்குக் கொண்டு வந்து, புள்ளித் தொகுப்பியல் சார்ந்த அணுகுமுறையை எல்லாப் பொருட்களுக்கும் பல் வாறு நீட்டிப்பது என்பதை நிரூபித்தார்.

கிப்ஸின் கடைசி ஆய்வுக் கட்டுரை இருபதாம் நூற்றாண் டின் தொடக்கத்தில் வெளிவந்தது. அதிகத் தன்னடக் கமுடைய ஆய்வாளராகிய கிப்ஸ் அவருடைய ஆய்வுக் கட் டுரைகளைச் சிறு மாகாணத்தைச் சேர்ந்த பல்கலைக்கழகக் குறிப்பேட்டின் மூலம் வெளியிட்டார். அவருடைய முக்கி யமான ஆய்வுகளைப் பற்றி எல்லா இயற்பியல் அறிஞர்க ளும் அறியுமுன்னர் பல வருடங்கள் கடந்துவிட்டன.

ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு துகள்களைக் கொண்டிருக்கும் பொருட்களின் பண்புகளைக் கணக்கிடுவதற்குப் புள்ளித் தொகுப்பு இயற்பியல் வழிகாட்டுகிறது. இக்கணக்கிட்டு முறைகள் எதையும் சாதிக்கக் கூடியவை என்று தவருக எண்ணக் கூடாது. பொருளில் அடங்கியிருக்கும் அணுக்

னும் இயற்பாட்டை அறிவியல் உலகுக்கு அளித்தவரும் இவரே! பல்லணு வாயுக்களின் வெப்பக் கொள்கை, வாயுக்களின் வெப்பக்கடத்துகை முதலானவை சம்பந்தப் பட்ட பிணக்குகளின் ஆராய்ச்சியில் ஈடுபட்டிருந்த அறிஞர் களின் முதல் வரிசையில் இவரும் இடம் பெற்றிருந்தார். வளிம இயக்கக் கொள்கை பற்றிய, இவரது ஆராய்ச்சி, இயற்பியல் செயல்முறைகளுக்குரிய புள்ளியியல் கோட்பாடு களின் வளர்ச்சிக்கு வெகுவாக உதவியது. மின்னியல் மற்றும் காந்தவியல் இயற்பாடுகளைப் பற்றிய, சில முக்கிய ஆராய்ச்சிகளையும் இவர் மேற்கொண்டிருந்தார்.

களின் இயக்கம் மிகவும் சிக்கலானதாக இருந்தால்—திரவங் களிலிருப்பது போன்று—கணக்கீடுகள் நடைமுறையில் செய் யத்தக்கதாக இருக்காது.

திறன் (Power)

எந்திரத்தின் வேலை செய்யும் திறன், வேலையை உட் கொள்ளும் திறன் ஆகியவற்றை மதிப்பிடுவதற்குத் திறன் என்னும் இயற்பாடு உதவுகிறது. ஒரு விநாடியில் செய்யப் பட்ட வேலையே திறன் எனப்படும்.

திறனை அளப்பதற்கு வித்தியாசமான பல அலகுகள் வழக்கில் இருக்கின்றன. எர்க்/விநாடி என்னும் திறன் அலகு சிஜிஎஸ் (CGS) தொகுதியைச் சேர்ந்ததாகும். ஆனால் 1 எர்க்/விநாடி என்பது ஒதுக்கிவிடக்கூடிய அளவு மிகக் குறைந்த திறனாகும். ஆகவே நடைமுறையில் உபயோகிப் பதற்கு இந்த அலகு வசதியற்றதாக இருக்கிறது. ஒரு ஜூல்/விநாடி என்னும் திறன் அலகு மிகப் பரவலாகப் பயன் படுத்தப்பட்டு வருகிறது. இந்த அலகு வாட்டு (வா) என அழைக்கப்படுகிறது; 1 வா $=$ 1 ஜூ/வி $= 10^7$ எர்க் விநாடி.

இந்த அலகும் சிறியதாகத் தோன்றினால், இது ஆயிரத் தால் பெருக்கப்பட்டுக் கிலோவாட்டு (கி.வா) என்ற அலகு பயன்படுத்தப்படுகிறது.

குதிரைத் திறன் என்ற திறன் அலகைப் பழங்காலத்தி லிருந்தே நாம் மரபு வழியில் பெற்றிருக்கிறோம். தொழில் நுட்ப வளர்ச்சியின் ஆரம்பக் கட்டத்தில் இவ்வார்த்தை ஆழமான அர்த்தத்தைக் கொண்டிருந்தது. எந்திரம் வாங் குபவர்களுக்குத் திறன் அலகுகளைப் பற்றிய அறிவு இல்லா மலிருந்தாலும் கூட 10 கு.தி.திறன் கொண்ட எந்திரம் 10 குதிரைகளைப் பதிலீடு செய்ய முடியும் என்ற கருத்தை அவர்கள் மனதில் கொண்டிருந்தனர்.

உண்மையில் எந்த இரு குதிரைகளும் சமமாயிருக்க முடியாது. திறனுக்குரிய முதல் அலகைக் கண்டுபிடித்தவர், சராசரி குதிரை ஒரு விஞடியில் 75 கி.கி.வி மீ அளவுள்ள வேலையைச் செய்ய வல்லது என்று தற்கோள் கொண்டிருக்க வேண்டும். பின்பற்றப்பட்டு வந்த அலகு இதுவேயாகும்: 1 கு.தி = 75 கி.கி.வி—மீ/விஞடி.

வேலை செய்யும் குதிரை, குறிப்பாக நகர ஆரம்பிக்கும் பொழுது மிக அதிக அளவிலான வேலையைச் செய்ய வல்லதாக இருக்கிறது. ஆயினும் சராசரி குதிரையின் திறன் கிட்டத்தட்ட ஒரு குதிரைத் திறனில் பாதிக்குச் சமமாயிருக்கிறது.

குதிரைத் திறன்களைக் கிலோவாட்டுகளாக மாற்றினல், 1 கு.தி = 0.735 கி.வா என்ற சமன்பாட்டை நாம் அடைகிறேம்.

அன்றாட வாழ்க்கையிலும் தொழில் நுட்பவியலிலும் மிகவும் மாறுபட்ட திறன்களைக் கொண்ட மோட்டார்களை நாம் காண நேரிடுகிறது. இசைப் பெட்டியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் மோட்டாரின் திறன் 10 வா ஆகும்; வோல்கா காரின் மோட்டாரின் திறன் 75 கு.தி = 55 கி.வா ஆகும். ஈல்—18 என்னும் பிரயாண விமான மோட்டாரின் திறன் 16,000 கு.தி ஆகும். கூட்டுப் பண்ணை ஒன்றுக்குரிய சிறு திறன் உற்பத்தி நிலையத்திலிருந்து 100 கி.வா திறன் கிடைக்கிறது. இவ்வகையில் தனிச்சிறப்பு வாய்ந்தது 5 மில்லியன் கி. வா திறனை உற்பத்தி செய்யும் க்ராஸ்ஞேயார்ஸ்க் நீர் மின் உற்பத்தி நிலையமேயாகும்.

நாம் பழக்கத்தில் கொண்டிருக்கும் திறன் அலகுகள், மற்றுமொரு ஆற்றல் அலகை நமக்குக் கொடுக்கின்றன. கிலோவாட்டு—மணி (கி. வா—ம) என்னும் பெயருடைய இந்த அலகு, மின் ஆற்றலை அளவிடும் கருவிகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் இடங்களிலெல்லாம் நன்கு அறியப்பட்டி

ருக்கும். ஒரு கிலோவாட்டு திறனுல் ஒரு மணி நேரத்தில் செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவே ஒரு கிலோவாட்டு—மணி எனப்படுகிறது. இப்புதிய அலகை நாம் ஏற்கனவே பழக்கப் படுத்திக் கொண்டிருக்கும் அலகுகளில் மாற்றி எழுதுவது எளிதாயிருக்கிறது: 1 கி.வா—ம $= 3.6 \times 10^6$ ஜூ $= 861$ கி. கலோரி $= 367000$ கி.கி.வி—மீ. இன்னொரு ஆற்றல் அலகு தேவையானதுதானு என வாசகர்கள் கேட்கலாம். ஏற்க னவே பல அலகுகள் வழக்கில் இருப்பது உண்மைதான்! ஆனால் ஆற்றல் என்னும் இயற்பாடு இயற்பியலின் பல பிரிவுகளில் இடம் பெற்றிருக்கிறது. ஆகவே ஒரு குறிப்பிட்ட பிரிவின் வசதியைப் பொறுத்து இயற்பியல் அறிஞர்கள் புதுப்புது அலகுகளைப் புகுத்திக் கொண்டே இருக்கிறார்கள். ஆகவே முடிவாக, எல்லா இயற்பியல் பிரிவுகளுக்கும் பொதுவான ஆற்றல் அலகைப் புகுத்த வேண்டிய அவசி யம் ஏற்பட்டது. சி.ஈ (SI) என்னும் புதிய அலகுமுறை இந்த நோக்கத்தை நிறைவேற்றுகிறது. ஆயினும் பழைய அலகுகள் அதிர்ஷ்டத்துடன் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட புதிய அலகுக்கு வழிவிடுவதற்கு நீண்ட காலம் எடுக்கும். அதனுல் இந்தக் கால இடைவெளியில், இயற்பியலைப் பயிலும் செயல்முறையில் நாம் பழக்கப்பட்டிருக்கும் ஆற்றலின் அல குகளின் வரிசையில் கிலோவாட்டு—மணி என்பது கடைசி யாகாது.

இயக்கு திறன்

பலதரப்பட்ட எந்திரங்களின் உதவியால்—பளுக்களை உயரே தூக்குவது, எந்திரக் கருவிகளை இயக்குவது, சாமான் களையும் மக்களையும் ஏற்றிச் செல்வது போன்ற—வெவ்வேறு வகைப்பட்ட வேலைகளை ஆற்றலின் தோற்றுவாய்களைக் கொண்டு செய்விக்க முடியும்.

எந்திரத்துக்குக் கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் ஆற்றலின் அளவையும் அதிலிருந்து பெறப்பட்ட வேலையின் மதிப்பையும் கணக்கிடுவது சாத்தியமானதே! எல்லா இயந்திரங்களிலும் வெளிப்படும் வேலையின் அளவு, உள்ளே கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றலின் அளவைவிடக் குறைவாயிருப்பதாகத் தெரியவருகிறது—ஆற்றலின் பகுதி எந்திரத்தினுள் இழக்கப்படுகிறது.

நமக்கு அவசியமான வேலைகளைச் செய்வதற்காக எந்திரத்தில் முழுவதுமாகப் பயன்படுத்தப்பட்ட ஆற்றலின் வீதம் எந்திரத்தின் இயக்கு திறன் என அழைக்கப்படுகிறது. வழக்கமாக E-ன் மதிப்புகளைச் சதவீதங்களில் குறிப்பிடுகிறோம்.

E ஆனது 90% க்குச் சமமாயிருந்தால், எந்திரம் 10% ஆற்றலை மட்டுமே இழக்கிறது என்பது பொருளாகும். E = 10% என்றிருந்தால், எந்திரத்துக்குக் கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றலில் 10% ஐ மட்டுமே அது பயன்படுத்தியிருக்கிறது என்பது அர்த்தமாகும்.

எந்திரம், எந்திர ஆற்றலை வேலையாக மாற்றினால், தத்துவ நீதியாக இயக்கு திறன் மிக அதிகமாக இருக்கக் கூடும். இந்த எந்திரத்தில் உராய்வைத் தவிர்ப்பதன் மூலம் இயக்கு திறனை அதிகரிக்க முடிகிறது. உயவைச் செம்மைப் படுத்துவது, சிறந்த தாங்கும் பொறிகளை உபயோகிப்பது, இயக்கம் நடைபெறும் ஊடகத்தினால் ஏற்படும் தடையைக் குறைப்பது ஆகியவை இயக்கு திறனை ஒன்றுக்கு அருகில் (100% க்கு) கொண்டு வருவதற்கான வழிமுறைகள் ஆகும்.

எந்திர ஆற்றல் வேலையாக மாற்றப்படும் பொழுது, மின்கடத்துகை (electrotransmission) என்னும் இடைப்பட்ட நிலை பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆனால் இது கூடுதல் இழப்புகளுக்கு வகை செய்கிறது. இருப்பினும் இவ்விழப்புகள்

மிகவும் குறைந்த அளவுடையனவாய் இருக்கின்றன. மின்கடத்துகையைப் பயன்படுத்தும் பொழுது, எந்திரவியல் ஆற்றலை வேலையாக மாற்றுவதில் ஏற்படும் இழப்புகளைச் சில சதவீதங்களாகக் குறைக்க முடிகிறது.

எந்திரம், பொருளின் வேதியியல் ஆற்றலை உபயோகப் படுத்தும் சூழ்நிலைகளில் முற்றிலும் மாறுபட்ட நிலை தோன்றுகிறது.

எரிபொருளின் ஆற்றலை நேரடியாக எந்திர ஆற்றலாக வோ அல்லது மின்னாற்றலாகவோ பெருமளவில் மாற்றக் கூடிய எந்திரம் எதுவும் இன்றுவரை கண்டுபிடிக்கப்பட வில்லை. ஆகவே வேதியியல் ஆற்றலை வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றும் இடைப்பட்ட நிலை தவிர்க்க முடியாததாகிறது. எரிபொருளிலிருந்து வேலையைப் பெற வேண்டுமானால், அதை எரிக்க வேண்டியதும் (அடுப்பில்) ஏதாவது ஒரு பகுதி யில் உயர் வெப்பநிலையை உருவாக்க வேண்டியதும் அவ சியமாகின்றன. அடுப்புக்கும் சுற்றியிருக்கும் ஊடகத்துக்கும் இடையே நிலைபெற்றிருக்கும் வெப்பநிலை வித்தியாசத்தினால், வெப்ப இயந்திரம் வேலை செய்கிறது. இந்த எந்திரம் வெப்ப ஆற்றல் பாயத்தின் பகுதியை உட்கொண்டு அதை வேலையாக மாற்றுகிறது. ஆனால் பாயத்தின் பகுதி மட்டுமே இவ்வாறு மாற்றப்படுகிறது. எந்தச் சூழ்நிலையிலும் முழு பாயமும் இவ்வாறு மாற்றப்படுவதில்லை.

வெப்பநிலை வித்தியாசம் அதிகமாக இல்லாவிடில் சிறு அளவு ஆற்றலை மட்டுமே உட்கொள்வது சாத்தியமாகிறது. அடுப்பு, ஊடகத்தின் வெப்பநிலையிலேயே இருந்தால், தோற்றுவாயிலிருந்து வெப்பத்தை உட்கொள்வது முற்றி லும் சாத்தியமாவதில்லை. வெப்பநிலை வித்தியாசம் அதிக மாயிருந்தால், வெப்பப் பாயத்தின் பெரும் பகுதியை வேலை யாக மாற்றுவது சாத்தியமாகிறது.

வெப்பப் பாயத்தின் தோற்றுவாய்க்கும் சுற்றியிருக்கும்

ஊடகத்திற்கும் இடையே நிலவேற்றிருக்கும் வெப்பநிலை வேறுபாடு அதிகமாயிருந்தால், வெப்ப ஆற்றலைப் பயன்படுத்துவதில் நாம் பெரும் வெற்றியைப் பெறுவோம்.

வெப்பநிலைகளின் இவ்வித்தியாசம், வெப்ப எந்திரங்களைச் செம்மைப்படுத்தும் சாத்தியக்கூறுகளை வரம்புக்குட்படுத்துகிறது. இலட்சிய தாங்கும் பொறிகளை உபயோகித்து, இயற்கையில் கிடைக்கப்பெறாத இலட்சிய வெப்பம் கடத்தும் பொருட்களையும் வெப்பம் கடத்தாப் பொருட்களையும் பயன்படுத்தி எந்திரத்தில் ஏற்படும் எல்லா இழப்புகளையும் நாம் ஒழித்துக் கட்டினாலும் கூட, எந்திரத்தில் இயக்கு திறன் ஒரு குறிப்பிட்ட பெருமமதிப்பை அடையுமே தவிர ஒன்றுக்குச் சமமாக இருக்காது. T_1 என்னும் வெப்பநிலையிலிருக்கும் சூடான பொருளிலிருந்து T_0 என்னும் வெப்பநிலையிலிருக்கும் ஊடகத்தை நோக்கிப் பாயும் வெப்பப் பாயத்தை வேலையாக மாற்றும் பொழுது தோன்றும் E-ன் உச்ச மதிப்பு $1-T_0/T_1$க்குச் சமமாயிருக்கிறது.

இவ்வாறு, வெப்பப் பாயத்தின் தோற்றுவாய் 100°C என்னும் வெப்பநிலையிருந்து ஊடகம் 20°C என்னும் வெப்பநிலையிருந்தால், E-ன் பெருமமதிப்பு 1—293/273க்குச் சமமாயிருக்கிறது, அதாவது கிட்டத்தட்ட 20% ஆகும். தோற்றுவாயின் வெப்பநிலை 1000°C ஆக இருந்தால், நாம் 76% இயக்கு திறனைப் பெறுகிறோம்.

அதிகப்பட்ச உயர் வெப்பநிலையை அடையுமாறு நாம் எரிபொருளை எரிக்க முயற்சிக்க வேண்டும் என்பது தெரியவருகிறது.

எந்திர வேலையைச் செய்வதற்காக வெப்பப் பாயத்தைப் பயன்படுத்துவது லாபகரமாக இல்லை என்பதை மேற்கூறியவற்றிலிருந்தும் நாம் தெரிந்து கொள்ளலாம். மிகச் சிறந்த நவீன வாயு டர்பைன்களிலும் கூட, கிட்டத்தட்ட 45% இயக்கு திறனைப் பெறுவதில்தான் நாம் வெற்றி கண்

டிருக்கிறோம். வேதியியல் ஆற்றலை வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றாமல் நேரடியாகவே எந்திர ஆற்றலாக மாற்றுவது எவ்வாறு என்பதைப் பயிலுவதே எல்லாவற்றிலும் சாலச் சிறந்ததாகும். இத்தகைய நேரடி மாற்றத்தின் போது, ஆற்றல் இழப்பைத் தவிர்ப்பது தத்துவ ரீதியாகச் சாத்தியமாகிறது என்பதை நாமனைவரும் அறிவோம். ஆயினும் நாம் முன்னர் குறிப்பிட்டது போலவே இதுவரையிலும் தொழில் நுட்பவியல் இப்பிணக்கைத் தீர்க்கவில்லை.

பூமியில் அமைந்திருக்கும் ஆற்றலின் தோற்றுவாய்கள்

ஆற்றலின் தோற்றுவாய்கள் அனைத்தும் சம முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை அல்ல. சில கோட்பாட்டியலாக முக்கியதுவம் வாய்ந்தவை; மற்றும் சில மனிதப் பண்பாட்டின் மேம்பட்ட நிலைக்குக் காரணமாய் இருக்கின்றன. சில தோற்றுவாய்கள் நடைமுறையில் வற்றாதவைகளாகும். ஏனையவை அடுத்த சில நூற்றாண்டுகளுக்குள் அல்லது சில பத்தாண்டுகளுக்குள் வெறுமையாகும் இயல்புடையவை.

நமது கோளியல் அமைப்பின் முக்கிய பாதுகாப்பாளராகிய சூரியன், பல உயிர்களுக்கு வாழ்வளிக்கும் அதன் கதிர்களைச் சில பில்லியன் ஆண்டுகளாகப் பூமிக்கு அனுப்பிக் கொண்டிருக்கிறது. ஆற்றலின் இத்தோற்றுவாயை வற்றாத இயல்புடையது என அழைக்கலாம். பூமியின் மேற்பரப்பின் ஒவ்வொரு சதுர மீட்டரும் கிட்டத்தட்ட 1.5 கி.வா என்னும் சராசரி திறனைக் கொண்ட ஆற்றலைப் பெறுகிறது. ஒரு வருடத்தில் பெறப்படும் மொத்த ஆற்றல் 10 மில்லியன் கிலோகலோரிகளாகும். நூற்றுக்கணக்கான கிலோகிராம்கள் எடையுள்ள நிலக்கரியை எரித்தால்தான் இவ்வளவு வெப்பம் வெளிப்படுகிறது. ஆனால் சூரியனிலிருந்து பூமி முழுவதிலும் பெறப்படும் வெப்பத்தின் அளவு

என்ன? பூமியின் மேற்பரப்பளவைக் கணக்கிட்டு, பூமியை அடையும் சூரியனின் கதிர்கள் ஒரே சீரானவை அல்ல என்ற உண்மையையும் கனக்கில் எடுத்துக் கொண்டால், இது கிட்டத்தட்ட 10^{14} கி.வா ஆக இருக்கிறது என்பது தெரியவருகிறது. இது தொழிற்சாலைகள், தாவரங்கள், மின் நிலையங்கள், மோட்டார் வண்டிகள், ஆகாய விமான எந்திரங்கள் இவையனைத்தும் பூமியில் அமைந்திருக்கும் ஆற்றலின் தோற்றுவாய்கள் எல்லாவற்றிலிருந்தும் பெறும் மொத் டாந்திர ஆற்றலைவிட நூறாயிரம் மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கிறது; அல்லது மிகச் சுருக்கமாகக் கூறினால், பூமியில் இருக்கும் மக்கள் தொகை முழுவதும் பயன்படுத்துகிற ஆற்றலைவிட (10^9 கி.வா அளவுடையது) 100 ஆயிரம் மடங்குகள் கூடுதலானதாகும்.

அதிக எண்ணிக்கையிலான செயல்முறைத் திட்டங்களுக்குப் பின்னரும் மிகக் குறைந்த அளவு சூரிய ஆற்றலே உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. நமது கணக்கீடு மிகப் பெரிய எண்ணைக் கொடுத்தாலும் கூட, இந்த அளவு ஆற்றல் பூமியின் மேற்பரப்பு முழுவதிலும் விழுகிறது என்பது உண்மையே! பூமியின் பெரும் பகுதியை அடைந்து கொண்டிருக்கும், அணுக முடியாத மலைகளின் பக்கங்கள் சமுத்திரங்களின் மேற்பரப்புகள், உயிரினங்கள் வாழ முடியாத பாலைவன மணல்கள் முதலியவற்றின் மீதும் கூட இவ்வாற்றல் விழுகிறது.

மேலும் சிறு பரப்பின் மீது விழுகிற ஆற்றலின் அளவு மிக அதிகமானதல்ல. ஆனால் பல சதுர கிலோமீட்டர்களுக்குப் பரந்திருக்கும், ஆற்றலைப் பெறும் கருவிகளை அமைப்பது விரும்பத்தக்கதல்ல. முடிவாக, அதிகமான நாட்களில் சூரியன் தெரியும் இடங்களில் மட்டுமே, சூரிய ஆற்றலை வெப்பமாக மாற்றுவதில் ஈடுபடுவது அறிவுடைய செயலாகத் தோன்றுகிறது.

சூரியனின் ஆற்றலை நேரடியாக மின்னாற்றலாக மாற்றக்கூடிய சாத்தியக்கூறுகள் தோன்றியதால் சமீபக் காலத்தில் சூரியனின் ஆற்றலை நேரடியாகப் பயன்படுத்துவதில் அதிக அக்கறை காட்டப்பட்டு வருகிறது. இப்படிப்பட்ட சாத்தியக்கூறு இயல்பாகவே நம்மைக் கவர்கிறது. இருப்பினும் இதுவரையிலும் மிகக் குறைந்த அளவிலேயே இது செயலாக்கம் பெற்றிருக்கிறது.

நமக்கு மேலே அமைந்திருக்கும் வளிமண்டலத்தின் உயர் அடுக்குகளில் அமைந்திருக்கும் சூரிய ஆற்றலின் கொள்கலன்கள் மிகச் சமீபக் காலத்திலேயே கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. பூமியின் மேற்பரப்புக்கு மேல் 150—200 கி.மீ உயரத்தில் அமைந்திருக்கும் ஆக்ஸிஜன் சூரியக் கதிர் வீச்சின் செயலாற்றலினால் பிரிந்த நிலையில் இருக்கிறது என்பது தெரியவருகிறது: ஆகஸிஜன் மூலக்கூறுகள் அணுக்களாகப் பிரிந்து காணப்படுகின்றன. இந்த அணுக்கள் சேர்ந்து ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளை அமைப்பதாக இருந்தால் 118 கி.கலோ/மோல் அளவுள்ள ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. இவ்வாற்றலின் மொத்தக் கையிருப்பு எவ்வளவு அதிகமானது என்பதை அறிய வேண்டும் அல்லவா? மேலே குறிப்பிட்ட உயரத்திலிருக்கும் 50 கி.மீ தடிமம் கொண்ட அடுக்கு 10^{23} கி. கலோரிகளை, அதாவது சில மில்லியன் டன்கள் எடையுள்ள நிலக்கரி முழுவதுமாக எரியும் பொழுது வெளிப்படும் ஆற்றலுக்குச் சமமான அளவு ஆற்றலைச் சேகரித்து வைக்க முடியும். இது சோவியத் ஜனநாயகக் குடியரசு நாட்டில் சில நாட்களில் வெட்டி எடுக்கப்படும் நிலக்கரியின் அளவாகும். அதிக உயரங்களில் பரிந்து காணப்படும் ஆக்ஸிஜன் தொடர்ச்சியாக வலுவூட்டப்பட்டாலும், இவ்வுயரங்களில் ஆக்ஸிஜனின் செறிவு குறைந்து காணப்படுவது சிக்கலாகத் தோன்றுகிறது. இவ்வாற்றலை நடைமு

றையில் உபயோகிப்பதற்கு இயந்திர நுட்பமுறைக்கேற்ப முறை அமைப்பது எளிதான காரியம் அல்ல.

ஆற்றல்களின் தோற்றுவாய்கள் பற்றிய, நமது விவாதத்தைத் தொடர்வோம். பூமியின் வளிமண்டலத்தில் காணப்படும் காற்றுப் பொருண்மைகள் தொடர்ந்து இயக்கத்தில் ஈடுபட்டிருக்கின்றன. சூறுவளிகள், புயல்கள், எப்பொழுதும் வீசிக் கொண்டிருக்கும் வியாபாரக் காற்றுகள், தென்றல்கள் இவையனைத்துமே காற்று வீச்சின் போது, ஆற்றல் பல வடிவங்களில் வெளிப்படுகிறது என்பதை உணர்த்துகிறது. மிகப் பழங்காலத்திலேயே படகுகளை இயக்குவதற்கும் காற்று விசையாலையை இயக்குவதற்கும் காற்றின் ஆற்றல் பயன்படுத்தப்பட்டன. காற்று வீச்சுக்களின் வருடாந்திர மொத்தச் சராசரி ஆற்றல் 10^{11} கி. வாட்டுக்குக் குறையாமலிருக்கிறது.

ஆயினும் காற்றை ஆற்றலின் சிறந்த தோற்றுவாய் என நாம் கருதுவதில்லை. இது நிலையான தோற்றுவாய் அல்ல என்னும் உண்மை ஒரு புறம் இருக்க (படகைச் செலுத்த காற்றை நம்பியிருந்த காலத்தில் காற்று வீசாமல் அமைதியாக இருந்ததனால், விளைந்த மாற்றங்களும் இடர்ப்பாடுகளும் எத்தனை?) சூரிய ஆற்றலைப் போன்ற அதே குறைபாட்டையும் இது தன்னிடத்தில் கொண்டிருக்கிறது: ஒரு அலகு பரப்பளவின் வழியே வெளிச் செலுத்தப்படும் ஆற்றலின் அளவு சார்பாக நோக்கும் பொழுது, மிகவும் குறைந்ததாகத் தோன்றுகிறது. பெரும் அளவில் ஆற்றலை உற்பத்தி செய்வதற்காக அமைக்கப்பட்ட காற்று டர்பைனின் தாள்கள் நடைமுறையில் சாத்தியமாகாத மிகப் பெரிய பரிமாணங்களைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். காற்றின் செறிவு அடிக்கடி மாறுவதும் மற்றொரு முக்கியமான குறைபாடாகும். ஆகவே காற்றின் ஆற்றல் (அல்லது புலவரின் மொழியில் கூறினால், ''நீலக்கரி'') சிறிய மோட்டார்களிலும் காற்று

விசையாலேகளிலும்தான் உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. அவை காற்று அதிகமாக வீசும் காலத்தில் விவசாய எந்திரங் களுக்கு மின்ஞற்றலேயும் வீடுகளுக்கு வெளிச்சத்தையும் கொடுக்கின்றன. மீதப்படும் ஆற்றல், மின் சேமக்கலங்க ளில் (மின் ஆற்றல் சேமித்து வைக்கப்படும் கலங்கள் இவ் வாறு அழைக்கப்படுகின்றன) சேமித்து வைக்கப்படுகின்றன. மீதப்படும் இவ்வாற்றலேக் காற்று வீசாத காலங்களில் பயன் படுத்தலாம். ஆனுல் நாம் காற்று விசையாலேயை முழுவது மாக நம்பியிருக்க முடியாது; இது ஒரு துணே மோட்டா ராகத்தான் பயன்பட முடியும்.

தொடர்ந்து கரையை நோக்கிச் செல்லும் கடல் அலே கள், கடல்களேயும் சமுத்திரங்களேயும் நோக்கிப் பாயும் ஆற்று நீர் போன்ற இயக்கத்துக்குட்பட்ட தண்ணீர் எளி தில் கிடைக்கக்கூடிய ஆற்றலின் தோற்றுவாயாகும்.

பூமியில் ஓடும் எல்லா ஆறுகளின் மொத்த திறனும் பல பில்லியன் கிலோவாட்டுகளுக்குச் சமமாயிருக்கிறது எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. ஆனுல் இவற்றில் கிட் டத்தட்ட 40 மில்லியன் கிலோவாட்டு திறன் மட்டுமே, அதாவது 1% அளவே இப்பொழுது பயன்படுத்தப்பட்டு வருகிறது. சோவியத் ஜனநாயகக் குடியரசில் ஓடும் ஆறுக ளின் உள் நிலேத் திறன் கிட்டத்தட்ட 400 மில்லியன் கிலோவாட்டு ஆகும். ஆனுல் இவற்றில் கிட்டத்தட்ட 20 மில்லியன் கி.வா திறன் மட்டுமே இதுவரையிலும் உப யோகப்படுத்தப்பட்டு வருகிறது.

நிலக்கரி, எண்ணெய் இன்னும் இது போன்ற பல ஆற்ற லின் தோற்றுவாய்களே நாம் இழந்து ''வெள்ளே நிலக்கரி''யை (ஆறுகளின் ஆற்றல்) ஆற்றலின் தோற்றுவாயாகக் கொள்ள வேண்டிய சூழ்நிலே ஏற்படும் பொழுது, இவ்வாற்றலே முழு அளவில் பயன்படுத்தினுலும் கூட, பூமியில் ஓடும் எல்லா ஆறுகளிலும் நீர் மின் நிலேயம் அமைக்கும் சாத்தியக்கூறு

இருக்கிறது என்று தற்கோள் கொண்டாலும் கூட அது பூமியில் மனித குலத்துக்குப் போதுமானதாக இருக்காது. இன்றைய காலத்தில் பூமியில் செலவிடப்படும் ஆற்றல் ஒரு பில்லியன் கிலோவாட்டுகளையும் விஞ்சிவிடுகிறது; இன்றைய சூழ்நிலையில் கூட, நீர்த் திறனை மட்டும் உபயோகப்படுத்தினால், மனித குலத்தின் தேவைகளை மட்டுமே பூர்த்தி செய்ய முடியும்.

கடல் எழுச்சியினால் ஏற்படும் அலைகளை ஆற்றலின் தோற்றுவாயாகப் பயன்படுத்தலாமா? இவ்வலைகளின் ஆற்றல் ஆறுகளின் ஆற்றலைவிடக் கிட்டத்தட்ட 10 மடங்குகள் குறைவாயிருந்தாலும் கூட, நாம் கவனிக்கத்தக்க அளவுடையதாயிருக்கிறது. ஆனால் இவ்வாற்றல் இதுவரையிலும் மிகக் குறைந்த அளவே பயன்படுத்தப்பட்டு வந்திருப்பது ஆச்சரியத்தைத் தரலாம்: இவ்வலைகளின் துடிப்புப் பண்பு அவற்றை உபயோகிப்பதில் சில இடர்ப்பாடுகளை ஏற்படுத்துகிறது. ஆயினும் சோவியத் மற்றும் பிரெஞ்சு நாட்டைச் சேர்ந்த பொறியியல் வல்லுநர்கள், இவ்விடர்ப்பாடுகளைச் சமாளிக்கும் நடைமுறை சாத்தியங்களைக் கண்டுபிடித்துள்ளார்கள். அதிகப் பட்சத் திறன் உபயோகப்படுத்தப்படும் காலங்களில் உத்திரவாதத்துடன் கூடிய திறனைக் கொடுக்க முடியும் என்ற உறுதிப்பாட்டை அலை மின் நிலையம் இப்பொழுது தர முடிகிறது. புனித காலோ என்னும் பெயர் கொண்ட அலை மின் நிலையம் பிரான்சில் நிர்மாணிக்கப்பட்டு, செயல்பட்டு வருகிறது. சோவியத் குடியரசில் மூர்மான்ஸ்க்கு அருகில் கிஸ்லாயா குபாவுக்குக் குறுக்கே அலை மின் நிலையம் அமைக்கப்பட்டு வருகிறது. இந்நிலையம் வெண்கடலில் அமைந்திருக்கும் மிசென்ஸ்கி, லும்போவ்ஸ்கி ஆகிய வளைகுடாக்களில் திட்டமிடப்பட்டிருக்கும் ஆற்றல் வாய்ந்த அலை மின் நிலையங்களின் மாதிரியாகப் பயன்பட்டு வருகிறது. 240 ஆயிரம் கிலோவாட்டு திறனை உற்பத்தி

செய்யும் அலை மின் நிலையம் பிரான்சில் செயல்பட்டு வருகிறது.

கடலின் கீழ், ஆழத்திலிருக்கும் தண்ணீரின் வெப்பநிலை, மேற்பரப்பு அடுக்குகளின் வெப்பநிலைகளைவிட 10—20° வித்தியாசமாயிருக்கிறது. ஆகவே குறுக்குக்கோடுகளின் மத்தியில் அமைந்திருக்கும் மேலடுக்குகளைச் சூடான பொருளாகவும் ஆழத்தில் அமைந்திருக்கும் அடுக்குகளைக் குளிர்ந்த பொருளாகவும் கொண்டு வெப்ப எந்திரத்தை அமைப்பது சாத்தியமாகிறது. இப்படிப்பட்ட எந்திரத்தின் இயக்குதிறன் 1—2% ஆகும். ஆனால் இது ஆற்றல் செறிவற்ற தோற்றுவாயாகும்.

சூரியன், காற்று, தண்ணீர் ஆகியவை ஆற்றலின் தன்னியல்பான தோற்றுவாய்களாகும்.* இவற்றின் ஆற்றல்களை உபயோகப்படுத்துவதனால் நாம் பூமியின் உடமைகளை மதிப்புக் குறையச் செய்வதில்லை என்ற கருத்தின்படி நாம் பாக்கியம் பெற்றவர்களாகிறோம். காற்று விசையாலைகளைச் செயலாக்கத்துக்குக் கொண்டு வருவதனால் பூமினில் நிலை பெற்றிருக்கும் காற்றின் அளவு குறைவுபடுவதில்லை. நீர் மின் நிலையத்தைச் செயல்படுத்துவதனால் ஆறுகளின் ஆழங்கள் குறைக்கப்படுவதில்லை. இதே போன்று சூரிய எந்திரங்களைச் செயலாக்கத்துக்குக் கொண்டு வருவதனால் பூமியில் நிலைபெற்றிருக்கும் பொருட்களின் கையிருப்புக் குறைவுபடுவதில்லை.

இக்கருத்தின்படி இதுவரையிலும் விவரிக்கப்பட்ட ஆற்றலின் தோற்றுவாய்கள் எரிபொருளைவிட மிகவும் சாதகமானவைகளாய் தோன்றுகின்றன. எரிபொருள் எரிந்து விடு

---

* நாம் ஏனைய ஆற்றல்களின் ஏனைய தோற்றுவாய்களின் வரிசையில் சூரியனையும் வைத்தலாகாது. இறுதி பகுப்பாய்வின்படி ஆற்றல் அனைத்தும் சூரியனிடமிருந்தே பெறப்படுகிறது.

கிறது. நிலக்கரி, எண்ணெய், மரம் முதலானவற்றின் ஆற்றலைப் பயன்படுத்தும் பொழுது, பூமியின் பெரு மதிப்புடைய உடைமைகள் திருப்புரு அழித்தலுக்குட்படுத்தப்படுகின்றன. எரிபொருளின் ஆற்றலை ஒன்று சேர்ப்பதற்கு உதவும் ஒளி வேதியியல் இயந்திரம்—ஒளிச் சேர்க்கை என்னும் செயல்முறைமையின் மூலமாக ஆற்றலைப் பெறுதல்—ஒன்றைக் கண்டுபிடிக்க முயற்சி செய்ய வேண்டும் என்ற விருப்பம் நம் மனதைத் தூண்டுகிறது. எல்லாத் தாவரங்களின் பச்சை இலைகளும் தண்ணீர், கார்பன் டையாக்சைடு முதலியவற்றின் மூலக்கூறுகளிலிருந்து அவற்றின் மூலக்கூறுகளுக்குப் பெரும் அளவில் கொடுக்கப்படும் ஆற்றலின் உதவியுடன் கரிமப்பொருட்களை உற்பத்தி செய்யும் தொழிற்சாலைகளாகச் செயல்படுகின்றன. இச்செயல் முறைக்கு இன்றியமையாததாக அமைந்திருக்கும் சூரிய ஒளிக்கு நாம் நன்றி செலுத்த வேண்டும். தாவரங்களில் மிகக் குறைந்த இயக்கு திறனுடனேயே (கிட்டத்தட்ட 1%) இச்செயல்முறை நடைபெறுகிறது. இப்படியிருப்பினும் கூடத் தாவரங்களால் சேமிக்கப்படும் வருடாந்திர ஆற்றல் கிட்டத்தட்ட 2×10^{16} கி.வா—மணிக்குச் சமமாயிருக்கிறது, அதாவது உலகம் முழுவதிலும் அமைந்திருக்கும் மின் நிலையங்கள் அனைத்தும் உற்பத்தி செய்யும் வருடாந்திர ஆற்றலைக் காட்டிலும் நூற்றுக்கணக்கான மடங்குகள் அதிகமாயிருக்கிறது. ஒளிச் சேர்க்கை என்னும் செயல்முறை இன்னும் பல புதிர்ப்பாடுகளிலிருந்தும் முற்றிலுமாக விடுவிக்கப்படவில்லை; ஆனால் எதிர்காலத்தில் ஒளிச் சேர்க்கையைச் செயற்கைச் சூழ்நிலைகளின் கீழ் நடைபெறச் செய்வதுடன் அதன் இயக்கு திறனையும் உயர்த்துவதில் நாம் வெற்றியடைவோம் என்பதில் எவ்வளவும் ஐயம் இல்லை. ஆயினும் இத்துறையில் மனிதன் இயற்கையுடன் போட்டியிட இயலவில்லை. இயற்கை நமக்குக் கொடுத்த பரிசுப் பொருள்களாகிய

எரியும் மரம், எண்ணெய், நிலக்கரி முதலானவற்றை உப யோகிக்க வேண்டிய நிர்பந்தத்துக்கு மனிதன் உள்ளாக்கப் படுகிறான்.

ஆனால் பூமியின் கையிருப்பு எரிபொருட்கள் யாவை? அதாவது தீயுடன் சேரும் பொழுது, எரியும் இயல்புடைய வையாயுள்ள நிலக்கரியும் எண்ணெயும் சாதாரண எரிபொ ருட்கள் என வகைப்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. பூமியில் இவற்றின் கையிருப்பு மிகக் குறைந்த அளவேயாகும். இப் பொழுது நடைமுறையிலிருக்கும் எண்ணெய் உபயோகத் தின் வீதத்தைக் கவனித்தால், எண்ணெய்க் கையிருப்பு முழுவதும் இரண்டாயிரம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் காலி யாகிவிடும் எனத் தோன்றுகிறது. நிலக்கரியின் கையிருப்பு இதைவிடச் சிறிது அதிகமாயிருக்கிறது. பூமியில் அமைந்தி ருக்கும் நிலக்கரியின் அளவு கிட்டத்தட்ட 10^{13} டன்கள் ஆகும். ஒரு கிலோகிராம் நிலக்கரி எரிக்கப்படும் பொழுது, 7000 கி. கலோரி அளவுள்ள வெப்பத்தைக் கொடுக்கிறது. ஆகவே நிலக்கரி ஆற்றலின் மொத்தக் கையிருப்பு 10^{20} கி.கலோரி அளவுடையதாகும். இது வரு டாந்திர ஆற்றலைப்போன்று கிட்டத்தட்ட ஆயிரக்கணக்கான மடங்குகள் அதிகமானதாகும்.

ஆயிரம் ஆண்டு காலத்திற்கான ஆற்றலின் சேமிப்பு மிகக் குறைந்ததாகக் கருதப்பட வேண்டும். மனிதனின் வாழ்நாளுடன் ஒப்பிடும் பொழுது, ஆயிரம் ஆண்டுகள் என் பது மிக நீண்ட காலமாகும். ஆனால் நாகரிக மேம்பாட டைந்த உலகத்தின் அல்லது பூமியின் வாழ்நாளை ஒப்பிடும் பொழுது, மனித வாழ்நாள் விரைந்து செல்லும் கணமாகத் தோன்றுகிறது. மேலும் ஒவ்வொருவரும் உபயோகப்படுத் தும் ஆற்றலின் அளவு தொடர்ந்து அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது. ஆகவே எரிபொருளின் கையிருப்புகளாக எண் ணெயும் நிலக்கரியையும் எடுத்துக் கொண்டால், பூமியில்

ஆற்றலின் கையிருப்பைப் பொறுத்தமட்டிலும் [illegible] கவ
லையளிக்கத்தக்கதாய் உள்ளது.

நமது நூற்றாண்டின் முதல் நாற்பதாண்டு காலத்தில்
அணுக்கரு எரிபொருள் என்றழைக்கப்படும் முற்றிலும் புது
வகையான எரிபொருளைப் பயன்படுத்தும் நடைமுறைச்
சாத்தியக்கூறு தோன்றியது. அணுக்கருவின் கையிருப்பு
குறிக்கத்தக்க அளவுக்கு நம்மிடம் இருக்கிறது.

அணு அதன் உள்ளகம் (core)—அணுக்கரு—முதலான
வற்றின் இயல்பமைப்புகளைப் பற்றியோ அல்லது அணுக்
கருவிலிருந்து அதன் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை எவ்வாறு
வெளிக் கொண்டு வருவது என்பது பற்றியோ விளக்கிக்
கூறுவதற்கு இது தகுந்த இடம் அல்ல. அணு மின் நிலையங்
களின் மூலமாகத்தான் அணுக்கரு ஆற்றலைப் பெரும் அள
வில் வெளிக் கொண்டு வர முடியும். அணுக்கரு ஆற்றல்
வெப்பமாக வெளியிடப்படுகிறது. நிலக்கரியினுல் செயல்ப
டும் மின் நிலையத்தில் வெப்பம் பயன்படுத்தப்படுவது
போன்றே இவ்வெப்பம் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

இந்நாளில் தொழிற்சாலைகளின் தேவைகளைப் பூர்த்தி
செய்யும் அளவுக்கு யூரேனியம் தோரியம் என்னும் இரு
தனிமங்களிலிருந்தும் நாம் ஆற்றலை வெளிக் கொண்டு வர
முடியும். அணுக்கரு எரிபொருளின் சிறப்பியல்பு அல்லது
அதன் முக்கிய பண்பு என்னவெனில், அதில் மிக அதிகமாக
ஆற்றல் செறிவு அடங்கியிருக்கிறது என்பதேயாகும். ஒரு
கிலோகிராம் அணுக்கரு எரிபொருள், அதே எடையுள்ள
நிலக்கரியைவிட 2.5 மில்லியன் மடங்கு அதிகமான ஆற்
றலைக் கொடுக்கிறது. ஆகவே சார்பாக நோக்கும் பொழுது,
இத்தனிமங்கள் மிகக் குறைந்த அளவுகளில் கிடைக்கப்
பெற்றாலுங்கூட ஆற்றலின் அடிப்படையில் குறிப்பிடும்
பொழுது, பூமியில் இத்தனிமங்களின் கையிருப்பு மிக அதி
கமானதாகும். அணுக்கரு எரிபொருளின் கையிருப்பு,

நிலக்கரியின் கையிருப்பைக் காட்டிலும் மிகவும் அதிகமானது என்பதைத் தோராயமான கணக்கீடுகள் காட்டுகின்றன. ஆயினும் யூரேனியம், தோரியம் போன்ற எரிபொருள்களை உபயோகப்படுத்தும் வாய்ப்பு கிட்டியதால் மட்டும் மனித குலத்தை ஆற்றலின் பசியிலிருந்து விடுவிக்கும் அடிப்படைப் பிணக்குக்குத் தீர்வு காண முடியாது. ஏனெனில் பூமியின் உள்ளகம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு கனிப்பொருட்களையே கொண்டிருக்கிறது.

ஆற்றலின் எல்லையேயில்லாத தோற்றுவாயைப் பற்றிக் குறிப்பிடக்கூடிய சாத்தியக்கூறு இப்பொழுது தோன்றியிருக்கிறது. வெப்ப—அணுக்கரு மாற்றங்களைப் பற்றி நாம் பேசிக் கொள்கிறோம். இருபது மில்லியன் டிகிரிகளின் அளவிலான மீஉயர் வெப்பநிலைகளிலேயே இவை சாத்தியமாகின்றன. இதுவரையிலும் அணுக்கரு வெடித்தலின் மூலமாகத்தான் இத்தகைய வெப்ப நிலைகள் சாத்தியமாயிருக்கின்றன.

வெடித்தல் முறைகளை உபயோகிக்காமலேயே உயர் வெப்பநிலைகளை அடையும் வழிகளைப் பற்றி ஆய்வாளர்கள் தீவிரமாகச் சிந்தித்து வருகின்றனர். ஒரு மில்லியன் டிகிரிகள் அளவுள்ள வெப்பநிலையை அடையும் கன்னி முயற்சிகள் வெற்றி வாகை சூடியிருக்கின்றன.

இயற்பியல் அறிஞர்கள், வெடித்தல் இல்லாத முறையின் மூலம் தேவையான பத்து மில்லியன் டிகிரிகள் அளவிலான உயர் வெப்பநிலையை அடைய முடிந்தால், ஹைடிரஜன் அணுக்கருக்களின் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட உருகிணைப்பு மாற்றம் (இது வெப்ப—அணுக்கரு என்னும் பெயரைக் கொண்டிருக்கிறது) ஏற்படச் சாத்தியமாகிறது. இப்படிப்பட்ட வினையின் போது, ஒரு கிலோகிராம் எரிபொருள் மிக அதிக அளவிலான ஆற்றலை வெளியிடுகிறது. பத்து மில்லியன் டன் தண்ணீரைச் செயல்முறைப்படுத்துவதன் மூலம்

வெளியிடப்படும் வேதியியல் அணுக்கரு ஆற்றலே ஒரு வருட காலத்தில் மனித குலத்துக்குத் தேவையான ஆற்றலின் அளவாகும்.

சூரியத் தொகுதியின் வயதைக் காட்டிலும் அதிகமான காலம் வரையிலும் மனித குலத்தின் ஆற்றல் தேவைக ளைப் பூர்த்தி செய்யும் அளவுக்கு, மிக அதிகமான வேதியி யல் அணுக்கரு ஆற்றல் மகா சமுத்திரங்களில் சேமித்து வைக்கப்படிருக்கிறது. முடிவாக வரம்பற்ற ஆற்ற லின் தோற்றுவாயை நாம் இங்குக் கண்டு கொண்டோம்.

மோட்டார்கள்

இருபதாம் நூற்றுண்டைச் சேர்ந்த மனிதன், அவனுடைய உழைப்புக்கு உதவும் வகையிலும் அவனுடைய திறனைப் பத்து மடங்கு அதிகரிக்கும் வகையிலும் அவனுக்காகப் பல் வகைப்பட்ட வேலைகளைச் செய்யும் பலதரப்பட்ட மோட் டார்களை உபயோகிப்பதற்குப் பழகியிருக்கிறுன்.

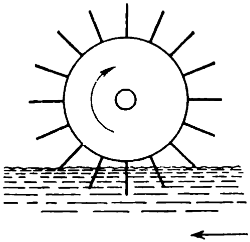
பல நாடுகளில் காற்று விசையாலை இன்றைய காலம் வரையிலும் பயன்படுத்தப்பட்டு வந்திருக்கிறது. காற்றின் ஆற்றலினுல் இயங்கும் இந்த எளிய மோட்டார் பல நூற் ருண்டுகளாக மனிதனுக்குச் சேவை செய்திருக்கிறது. இப் படிப்பட்ட மோட்டாரின் தாள்கள் சமதளப்பரப்புடை யவை. அவை காற்றின் திசையிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வட்ட வடிவில் அமைக்கப்பட்ட தாள்களைத் தாக்கும் காற்றுப் போக்கு சக்கரத்தைச் சுழலச் செய்கிறது.

காற்று மோட்டார் எதிர் விளைவையும் உண்டாக்க முடி யும் என்பதும் நாமறிந்ததே: ஒரு மோட்டார், காற்று மோட்டாரைச் சுழலச் செய்தால், சுழலச்சின் திசையில் முன்னேக்கி, ஆற்றல் வாய்ந்த காற்றுப் போக்கு ஏற்பட

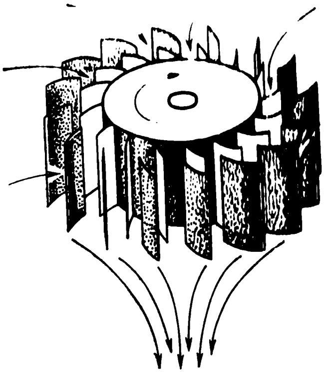
அதன் தாள்கள் வழிவகுக்கின்றன. சறுக்கு விமானம், ஆகாய விமானம், திருகு வானூர்தி (helicopter) இவற்றில் ஏதாவது ஒன்றில் பொருத்தப்படும் இத்தகையதொரு அமைப்பு ''முன்னேக்கித் தள்ளி'' என்றழைக்கப்படுகிறது. ''முன்னேக்கித் தள்ளி'' ஒன்றினல் செயல்படுத்தப்படும் ஜெட் எதிர்வினை, சறுக்கு விமானம் அல்லது ஆகாய விமானத்தை இழுக்கிறது. திருகு வானூர்திக்கு மேல்நோக்கிய எழுச்சியை உண்டாக்குகிறது.

எல்லா மோட்டார்களுக்கும் முன்னதாக, மனித இனம் அவர்களின் தேவைகளுக்காகப் பயன்படுத்திய முதல் மோட்டார், நீர் விசை உருளை என்றழைக்கப்படும், நீர்ச் சுழலியின் மிகப் பழங்காலத்திய அமைப்பாகும்.

நீர் விசை உருளை படம் 133ல் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. நீருக்குள் மூழ்கியிருக்கும் தாள்களில் ஒன்றின் மீது அடிக்கும் பொழுது, நீரோட்டம் அதன் இயக்க ஆற்றலின் ஒரு பகுதியை அத்தாளுக்குக் கொடுக்கிறது. ஆகவே தாள் இயக்கத்துக்குட்படுத்தப்படுகிறது. அது சக்கரத்துடன் விறைப்பாக இணைக்கப்பட்டிருப்பதால் சக்கரம் சுழல ஆரம்பிக்கிறது. ஆனல் ஒரு நேரத்தில் ஒரு தாளே நீரோட்டத்துக்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்க முடியும் என்பதை நாம் காண முடிகிறது. மற்றத் தாள்கள் நீரொழுக்குடன் குறுங்கோணம் ஒன்றை அமைத்திருப்பதால், செங்குத்தான தாளைக் காட்டிலும் இவை நீரொழுக்கிலிருந்து குறைந்த ஆற்றலையே எடுத்துக் கொள்கின்றன. இத்தகையதொரு சக்கரத்தின் இயக்க திறன் அதிகமானதல்ல. இதனை அதிகப்படுத்தும் வழிமுறை நாமறிந்ததே: எல்லாத் தாள்களும் நீரோட்டத்துக்குச் செங்குத்தாக இருக்குமாறு அமைக்கப்படுதல் வேண்டும். ஒழுங்குபடுத்தும் பொறியின் உதவியால் இதை நாம் சாதிக்க முடிகிறது. இத்தகையதொரு சுழலி வெற்றிகரமாகச் செயல்பட வேண்டுமானல், இதனு



படம் 133



படம் 134

டன் வெவ்வேறு உயரங்களைக் கொண்ட திரவ மட்டங்கள் அவசியமாயிருக்கின்றன என்பது படம் 134ல் இருந்து தெரியவருகிறது. நவீன நீர் மின் நிலையத்தின் வரைபடத்தை நாம் இங்குத் தருகிறோம். இந்நிலையத்தைச் சேர்ந்த ஆற்றல் வாய்ந்த அணை, தண்ணீரை மிகுந்த விசையுடன் சுழலியின் தாள்களின் மீது செலுத்துகிறது. உயர்மட்டத்திலான நவீன தொழில் நுட்பவியல் திறமையுடன் செய்யப்பட்ட நீர்ச் சுழலிகள் 100,000 கி. வா மின்சாரத்தை உற்பத்தி செய்யவல்லதாயும் 95% இயக்கு திறனுடன் செயல்படக் கூடியதாகவும் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இம்மின்சாரம் மிகவும் குறைந்த சுழற்சி நிலைக்ாகன (100 சுழற்சி/நிமிடம் அளவிலானது) உண்டாக்கப்படுவதால், இப்பொழுது அமைக்கப்படும் நீர்ச் சுழலிகளின் பரிமாணங்களும் எடை-யும் நம்மை நிலை தடுமாறச் செய்கின்றன: இவ்வாறாக, லெனின் பெயரைக் கொண்ட வோல்ஷ்ஸ்காயா என்னும் நீர் மின் நிலையத்தின் உந்துச் சக்கரம் கிட்டத்தட்ட 10

ஒதுக்கித் தள்ளப்படும் தருணத்தில் இத்தகைய மோட்டார். குறைந்த சுழல் வேகத்தில் அதிக ஆற்றலை வெளிப்படுத்த முடியும்.

இதன் விளைவாகச் சுழலிக்கும் பீற்று வழி மின்சார மோட்டார் கப்பலின் முன்தள்ளிக்கும் இடையே அமைந் திருக்கும் நேரடி மின் ஆக்கியும் மோட்டாரும் பெருமளவு துல்லியத்துடன் அமைக்கப்பட்ட, வேகத்தை மாற்றிக் கொள்ளும் தானியங்கும் பல்சக்கரத் தொகுதிகள் போன்று செயல்படுகின்றன. இத்தகையதொரு அமைப்பு எளிதில் கையாள முடியாததாகத் தோன்றலாம். ஆனுல் நவீன பீற்று வழி மோட்டார்க் கப்பல்களின் திறனை நோக்கும் பொழுது, வேறெந்த அமைப்பும் இதைப்போன்று பெரிய வடிவத் தையே கொண்டிருந்து நம்பத்தகுந்ததாக அமையாது.

பீற்று வழி மின்சார மோட்டார்க் கப்பலின் மின் அமைப்புப் பகுதி இன்னொரு வழியில் செம்மைப்படுத்தப்ப டலாம்: எளிதில் கையாள முடியாத நீராவி கொதிகலன் களை அணு உலையால் பதிலீடு செய்வது மிகவும் நன்மை பயப்பதாகும். பயணத்தின் போது எடுத்துச் செல்ல வேண் டிய எரிபொருளின் கன அளவை இது வெகுவாகக் குறைக் கிறது.

''லெனின்'' என்னும் பெயர் தாங்கிய அணு ஆற்றலால் முன்தள்ளிச் செல்லப்பட்ட முதல் சோவியத் பனிக்கட்டி உடைக்கும் கப்பல் உலகம் முழுவதும் பரவியது. இக்கப்ப லின் மோட்டாரின் திறன் 44,000 கு.தி க்குச் சமமாகவும் 16,000 டன் எடையை இடம் பெயரச் செய்யவல்லதாக வும் இருக்கின்றன. இந்தப் பீற்று வழி மின்சார மோட்டார் கப்பலில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் அணு ஆற்றல் அமைப்பு, இக்கப்பல் வெளி உலகத் தொடர்பின்றி ஒரு வருடம் முழு வதும் பயணம் செய்வதற்குத் தேவையான ஆற்றலை அளிக் கிறது.

இவ்வாறாக, நீராவிச் சுழலிக்கு ஆற்றல் வாய்ந்த வெளிப்புற வெப்பத் தோற்றுவாய் தேவையாயிருக்கிறது. நீராவி கொதிகலத்தின் அடுப்பாக இருந்தாலும் சரி, அல்லது தொழில் நுட்பவியலின் இக்கால வளர்ச்சிக்குத் தகுந்தாற் போல, யுரேனியம் அணு உலையாக இருந்தாலும் சரி, மோட்டார் வாகனத்திலோ அல்லது ஆகாய விமானத்திலோ நீராவிச் சுழலியைப் பொறுத்துவது உகந்ததாக இல்லாத அளவுக்கு இத்தோற்றுவாய்கள் மிகப் பெரிய வடிவத்தையும் எடையையும் கொண்டிருக்கின்றன. ஒரு குதிரைத் திறனை அளிக்கவல்ல மோட்டார், அதன் சூடாக்கும் கருவி முதலியவற்றின் மொத்த எடை மிகவும் அதிகமாதிருக்கும். வெளிப்புறம் அமைந்திருக்கும் சூடாக்கும் கருவியைத் தவிர்த்துச் சுழலியின் உள்ளே இருக்குமாறு மாற்றியமைக்க முடியாதா?

இத்தகையதொரு கருவி அமைக்கப்பட்டு ஏற்கனவே பரவலாகப் பயன்படுத்தப்பட்ட வருகிறது. இதுவே வாயுச் சுழலியாகும். அதிகமாகச் சூடாக்கப்பட்ட எரிபொருளை எரிப்பதனால் கிடைக்கும் வினைபொருளே இதன் செயற்படு பொருளாகும். இதுவே, நீராவிச் சுழலியைக் காட்டிலும் வாயுச் சுழலி கொண்டிருக்கும் சிறப்பையும் வாயுச் சுழலியை மிகச் சிறந்த முறையில் செயல்பட வைப்பதில் எழும் தொழில் நுட்பவியல் சிக்கல்களையும் தீர்மானிக்கிறது.

இதனால் உண்டாகும் நன்மைகளை நாமறிவோம்: எரி பொருள் எரிக்கப்படும் எரிதல் அறை சிறியதாக இருப்பதால், இது சுழலியின் பெட்டியினுள்ளேயே வைக்கப்படலாம். நுண் துகளாக்கப்பட்ட மண்ணெண்ணெய், ஆக்ஸிஜன் ஆகியவற்றாலான எரிபொருட்கள் நீராவியால் அடைய முடியாத உயர்வெப்பநிலையை அடைகின்றன. வாயுச் சுழலியின் எரிபொருள் அறையில் உண்டாக்கப்படும் வெப்பப் பாய்ச்சல் அதிகச் செறிவுடையதாகும். இது,

உயர் இயக்கு திறனைப் பெறுவதற்கான சாத்தியக்கூற்றைக் கொடுக்கிறது.

ஆனால் இச்சிறப்புகள் குறைபாடுகளாகவும் மாறுகின்றன. சுழலியின் இரும்பாலான தாள்கள் 1200°C வெப்பநிலையிலிருக்கும் வாயுப் பாய்ச்சல்களைச் சந்திக்க நேரிடுகிறது. ஆகவே இவை நுண்ணிய சாம்பல் துகள்களால் நிறைந்து காணப்படுகின்றன. வாயுச் சுழலிகள் தயாரிப்பதற்குப் பயன்படும் பொருட்களின் தேவைகள் மிகவும் அதிகமாயிருக்கும் என்பதை எளிதில் கற்பனை செய்யலாம். காருக்கேற்ற, கிட்டத்தட்ட 200 கு.தி அளவுள்ள திறன் கொண்ட வாயுச் சுழலியை அமைக்கும் முயற்சியில், ஒரு விசேஷ இடர்ப்பாட்டை நாம் சந்திக்க வேண்டியிருந்தது: சாதாரண தொழில் நுட்பவியல் சார்ந்த தீர்வுகளையும் வழக்கமாகப் பயன்படுத்தும் பொருட்களையும் உபயோகப்படுத்த முடியாத அளவுக்கு வாயுச் சுழலி மிகச் சிறிய பரிமாணங்களைக் கொண்டிருக்க வேண்டியிருந்தது. ஆயினும் தொழில் நுட்பவியல் சார்ந்த சிக்கல்கள் ஏற்கனவே திர்க்கப்பட்டுவிட்டன. வாயுச் சுழலிகள் பொருத்தப்பட்ட முதல் பரிசோதனைக் கார்கள் சோதனைக்குட்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன.

ரயில் போக்குவரத்துகளில் வாயுச் சுழலியைப் பயன்படுத்துவது மிகச் சுலபமானது எனத் தோன்றுகிறது. வாயுச் சுழலி தொடர் வண்டி இயக்கு பொறிகள் என்னும் வாயுச் சுழலிகள் பொருத்தப்பட்ட தொடர் வண்டி இயக்கு பொறிகள் உலகம் முழுவதிலும் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன.

ஆனால் வாயுச் சுழலி அவசியமான பகுதியாக அமைந்திருக்கும், முற்றிலும் வித்தியாசமான எந்திரங்களே வாயுச் சுழலிகளின் பரவலான உபயோகத்துக்கு வழிவகுத்திருக்கின்றன. இக்கால ஜெட் பயணத்தில் பயன்படும் அடிப்படை மோட்டார் வகையைச் சேர்ந்த பீற்று வழிவிசைப் பொறி

உருளையைப் (turbojet engine) பற்றியே நாம் இங்குக் குறிப் பிடுகிறோம்.

ஜெட் மோட்டாரின் தத்துவம் மிகவும் எளியதாகும். நீடித்து உழைக்கக்கூடிய எரிதல் அறையில் வாயுக் கலவை எரிக்கப்படுகிறது. மிக அதிகமான வேகத்துடன் (ஹைடிர ஜன் ஆக்ஸிஜனுடன் எரிக்கப்படும் பொழுது 3000 மீ/வி என்ற வேகத்துடனும் இதைவிட வேறுவகையைச் சேர்ந்த எரிபொருட்களுக்குக் குறைந்த வேகத்துடனும்) எரியும் பொருட்கள், மெதுவாக விரிவடையும் குழாய் முகப்பின் வழியே இயக்கத் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் செலுத்தப் படுகின்றன. சார்பாகக் குறைந்த அளவுகளைக் கொண்ட எரிதலின் வினைபொருட்கள் கூட, மோட்டாரின் எதிர்த் திசையில் மிக அதிகமான உந்தத்தைக் கொண்டு செல்ல முடியும்.

ஜெட் மோட்டார்களைப் படைத்த பின்னர், விண் வெளிப் பயணத்தை மேற்கொள்ளுவதற்கான உண்மையான வாய்ப்புகளை மனிதன் பெற்றிருக்கிறான்.

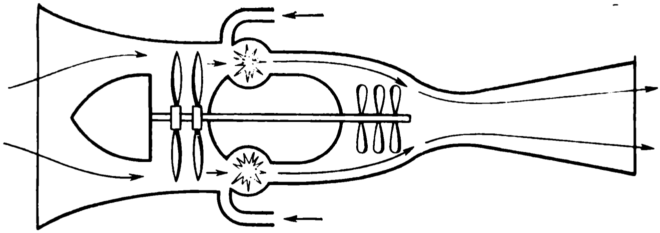
திரவ முன்தள்ளி ராக்கெட்டு மோட்டார்கள் மிகப் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. எரிபொருளின் குறிப்பிட்ட பகுதிகளும் (எடுத்துக்காட்டாக, எதில் ஆல்க ஹால்) ஆக்ஸிஜன் ஏற்றும் பொருளும் (பொதுவாகத் திரவ ஆக்ஸிஜன்) இப்படிப்பட்ட எந்திரத்தின் எரிதல் அறையி னுள் செலுத்தப்படுகின்றன. இக்கலவை எரிந்து இரு விசையை உண்டாக்குகிறது. V—2 போன்று அதிக உயரத் திற்குச் செல்லும் ராக்கெட்டுகளில் இழு விசை 15 டன் களின் அளவில் செயல்படுகிறது. பின்வரும் எண்மதிப்புகள் போதுமான விளக்கத்தை அளிக்கின்றன: 8.5 டன் என்னும் எடையைக் கொண்ட எரிபொருளும் ஆக்ஸிஜன் ஏற்றும் பொருளும் ராக்கெட்டினுள் ஊற்றப்பட்டு 1.5 நிமிடங்க ளில் எரிக்கப்படுகின்றன. அதிக உயரத்திலும் பூமியின் வளி

மண்டலத்துக்கு அப்பாலும் பயணத்தை மேற்கொள்ளும் பொழுது மட்டுமே ராக்கெட்டு மோட்டார்களில் திரவ எரிபொருளை உபயோகப்படுத்துவது உகந்ததாகும். போது மான அளவு ஆக்ஸிஜன் நிலைபெற்றிருக்கும் வளிமண்டலத்தின் கீழடுக்குகளில் (20 கி.மீ உயரம் வரையிலும்) பயணம் செய்வதற்காக அனுப்பப்படும் ஆகாய விமானத்தினுள் பிரத்யேக ஆக்ஸிஜன் ஏற்றும் பொருளை அதிக அளவில் ஊற்றுவது அர்த்தமற்ற செயலாகும். ஆனல் இங்கு எரிதல் நன்கு நடைபெறுவதற்குத் தேவைப்படும் அதிக அளவு காற்றை, எரிதல் அறையினுள் அனுப்புவதிலும் சிக்கல் தோன்றுகிறது. இச்சிக்கல் இயற்கையின் மூலமாகவே தீர்க் கப்பட்டுவிடுகிறது; எரிதல் அறையில் உண்டாக்கப்படும் வாயு ஒழுக்கின் ஆற்றலில் ஒரு பகுதி, காற்றை அறையினுள் செலுத்தும், ஆற்றல் வாய்ந்த இறுக்கும் கருவியை இயக்குவதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

மிக அதிக வெப்பநிலையிலிருக்கும் வாயுக்களின் பாய்ச் சலால் எழும் ஆற்றலின் உதவியால் செயல்படும் மோட் டார்கள் எவை என்பதை நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். இவையே வாயுச் சுழலிகளாகும். இந்த அமைப்பு முழுவதுமாகப் பீற்று வழி விசை உருளை என அழைக்கப்படுகிறது (படம் 135). 800—1200 கி.மீ/மணி என்னும் வேகங்களுடன் பறக்கவல்ல பீற்று வழி விசை உருளைக்கு நிகரான போட்டி மோட்டார் எதுவும் இல்லை.

600—800 கி.மீ/மணி என்னும் வேகங்களுடன் மேற் கொள்ளப்படும் நீண்ட தூர பயணங்களின் போது, பீற்று விசை உருளையின் உந்துத் தண்டுடன் சாதாரண வானூர்தியின் முன்தள்ளியும் இணைக்கப்படுகிறது. இது பீற்று விசை உருளை முன்தள்ளி (turboprop) என அழைக்கப்படுகிறது.

2000 கி.மீ/மணி அல்லது இதைவிட அதிகமான வேகத் துடன் பறக்கும் பொழுது இறுக்கும் கருவியே தேவைப்ப

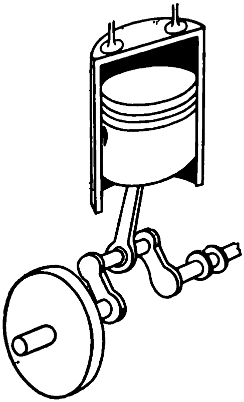


படம் 135

டாத அளவுக்கு ஆகாய விமானம் ஏற்படுத்தும் அழுத்தம் மிகவும் அதிகமாகிறது. அப்படியானால் வாயுச் சுழலியும் தேவைப்படாது என்பதும் இயற்கையே. மோட்டார், மாறுபட்ட குறுக்களவுகளைக் கொண்ட குழாயாக மாறுகிறது; இதன் உள்ளே ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் எரிபொருள் எரிக்கப்படுகிறது. இது ராம்ஜெட் (ramjet) எந்திரம் என அழைக்கப்படுகிறது. ராம்ஜெட் எந்திரம் ஆகாய விமானத்தைத் தரையிலிருந்து உயரே எழுப்பிச் செல்ல முடியாது என்பது தெரியவருகிறது. மிக அதிகமான வேகத்துடன் பறக்கும் பொழுது மட்டுமே இவ்வெந்திரம் வேலை செய்யும் இயல்புடையதாகும்.

எரிபொருளால் விளையும் மிகுந்த செலவின் காரணமாகக் குறைந்த வேகங்களுடன் கூடிய பயணங்களில் ஜெட் எந்திரங்களை உபயோகப்படுத்துவது முற்றிலும் உகந்ததன்று.

தரையில் அல்லது தண்ணீரில் அல்லது காற்றில் 0—500 கி.மீ/மணி என்னும் வேகத்துடன் கூடிய பயணத்தை மேற்கொள்வதற்குப் பெட்ரோல் அல்லது டீசல் எரிபொருளாகப் பயன்படும் உந்துத் தண்டுடன் கூடிய உட்புற எரிதல் மோட்டார்கள் மனிதனுக்கு உதவியாயிருக்கின்றன. இதன் பெயர் குறிப்பாகக் கூறுவது போலவே, இப்படிப்பட்ட



படம் 136

மோட்டாரின் முக்கிய பாகம் உந்துத் தண்டு உட்புறத்தில் இயங்குவதற்கு வசதியான உருளேயாகும். சேர்க்கைத்தடி, கிராங்க் முதலியவற்ருலான அமைப்பின் (connecting rod and crank system) உதவியால் உந்துத் தண்டின் முன்னேக்கிய, பின்னேக்கிய இயக்கம் மோட்டாரின் சுழல் தண்டின் (shaft) சுழல் இயக்கமாக மாற்றப்படுகிறது (படம் 136).

உந்துத் தண்டின் இயக்கம், சேர்க்கும் தடியின் மூல மாகக் கிராங்குச் சுழல் தண்டின் பகுதியாக அமைந்திருக்கும் கிராங்குக்குக் கடத்தப்படுகிறது. கிராங்கின் [இயக்கம், சுழல் தண்டைச் சுழலச் செய்கிறது. மாருக, கிராங்கு தண்டைச் சுற்றினுல் இது சேர்க்கும் தடியை முன்னும் பின்னும்அசைக்கவும் உருளேகளினுள் அமைந்திருக்கும் உந்துத் தண்டுகளே இடம் பெயரவும் செய்கிறது.

பெட்ரோல் மோட்டாரின் உருளேயில் இரு வால்வுகள் (valves) அமைந்திருக்கின்றன. இவற்றில் ஒன்று, வாயுக் கலவையின் நுழைவாயாகவும் மற்ருென்று தேவையற்ற வாயுக்கள் வெளியேற்றப்படுவதற்கும் பயன்படுகின்றன. மோட்டாரை இயக்குவிக்க வேண்டுமானுல், வெளிப்புற தோற்றுவாயின் ஆற்றலேப் பயன்படுத்தி அதைச் சுழலச் செய்ய வேண்டும். ஒரு குறிப்பிட்ட தருணத்தில் உந்துத் தண்டு கீழ்நோக்கி வந்து கொண்டிருக்கிறது எனவும் நுழைவாய் திறந்திருக்கிறது எனவும் தற்கோள் கொள்ளவும். நுண் துகளாக்கப்பட்ட பெட்ரோல், காற்று ஆகியவற்ருலான கலவை உருளேக்குள் உறிஞ்சப்படுகிறது. உந்துத் தண்டு

மிகத் தாழ்ந்த நிலையை அடையும் தருணத்தில் நுழைவாய் மூடும்படியாக, நுழைவாய் சுழல் தண்டுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சுழல் ஒண்டு சுழற்சியைத் தொடரும் பொழுது, உந்துத் தண்டு மேல்நோக்கிச் செல்கிறது. வால்வுகளின் தானியங்கும் செயல் (drive) இவ்வுதைப்பின் போது அவை மூடியிருக்க வகை செய்கிறது. ஆகவே வாயுக் கலவை இறுக்கப்படுகிறது. உந்துத் தண்டு அதிகப் பட்ச மேல் நிலையை அடையும் பொழுது, இறுக்கப்பட்ட கலவை உந்துப் பொறி (spark plug)யின் மின்வாய்களுக்கு நடுவே தோன்றும் மின் விசைப் பொறியினால் தீப்பற்றப்படுகிறது. கலவை தீப்பற்றிக் கொள்கிறது. எரிதலின் விளைபொருட்கள் விரிவடைந்து உந்துத் தண்டைக் கீழ்நோக்கித் தள்ளுகின்றன. எந்திரத்தின் சுழல் தண்டு ஆற்றல் வாய்ந்த தள்ளு விசையைப் பெறுகிறது; சுழல் தண்டில் அமைந்திருக்கும் கனச் சுழலி (flywheel) அதிக அளவிலான இயக்க ஆற்றலைச் சேமித்து வைக்கிறது. இவ்வாற்றலின் செலவிலேயே அடுத்த மூன்று முன்னணி உதைப்புகள் ஏற்படுகின்றன: முதலாவதாக வெளியேற்றும் வால்வு திறந்திருக்கும் பொழுது, உந்துத் தண்டு மேல்நோக்கி இயங்கி, தேவையற்ற வாயுவை உருளையிலிருந்து வெளியேற்றும் உதைப்பு; அடுத்தது நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டிருக்கும், உள்வாங்கும் உதைப்பு, இறுக்கும் உதைப்பு ஆகியவையாகும். பின்னர் புதிதாகத் தீப்பற்றச் செய்தலும் (ignition) நிகழ்கிறது. மோட்டார் இயக்கப்படுகிறது.

பெட்ரோல் மோட்டார்கள் ஒரு குதிரைத்திறனில் சில பாகங்களின் அளவிலிருந்து 4000 கி.தி வரைக்குமான திறனையும் 40% வரையிலான இயக்கு திறனையும் ஒரு குதிரைத் திறனுக்கு 300 கி என்னும் வீதத்திலான எடையையும் கொண்டிருக்கின்றன. கார்களிலும் விமானங்களிலும் இவை

மிகப்பரவலாகப் பயன்படுவதை இவற்றின் பண்புகள் விளக்கிக் கூறுகின்றன.

பெட்ரோல் மோட்டாரின் இயக்கு திறனை நாம் அதிகரிப்பது எவ்வாறு? இறுக்கத்தின் அளவை அதிகரிப்பதுதான் மிக முக்கியமான வழியாகும். ஏனெனில் போக்குவரத்துக்காகப் பயன்படுத்தப்படும் வெப்ப மோட்டார்கள் அனைத்துக்குமே அவற்றைச் சுற்றி அமைந்திருக்கும் காற்று, குளிர்விக்கும் பொருளாகச் செயல்படுகிறது. ஆகவே செயற்படு பொருளின் வெப்பநிலையை உயர்த்துவதால் மட்டுமே இயக்கு திறனை அதிகரிக்க முடியும்; ஆனால் இவ்வாறு செய்ய வேண்டுமானால், தீப்பற்றுவதற்கு முன்னதாகக் கலவையைச் சாத்தியமாகும் வரையிலும் அழுத்த வேண்டும். ஆனால் இவ்வாறு செய்யும் பொழுது, கவலையளிக்கக்கூடிய சிக்கல் தோன்றுகிறது: அதிகமாக அழுத்தப்பட்ட கலவை வெடிக்கிறது. திறன் உதைப்பு வலுமிகுந்த வெடிப்பாக மாறி, மோட்டாரைச் சேதப்படுத்தக் கூடும். பெட்ரோலின் வெடிக்கும் பண்பைக் குறைப்பதற்கான வழி முறைகளை நாம் கையாள வேண்டியதிருக்கிறது. இது ஏற்கனவே மிகுந்த விலையைக் கொண்ட எரிபொருளின் விலையை மேலும் அதிகமாக்கக் கூடும்.

திறன் உதைப்பின் போது வெடிப்பைத் தவிர்த்து, எரிபொருளின் செலவைக் குறைத்து வெப்பநிலையை அதிகப்படுத்துவதில் தோன்றும் சிக்கல்களுக்கு டீசல் மோட்டார்களில் வெற்றிகரமாகத் தீர்வு காணப்பட்டிருக்கிறது.

டீசல் மோட்டார் அதன் அமைப்பைப் பொறுத்தமட்டில் பெருமளவில் பெட்ரோல் மோட்டாரை ஒத்திருக்கிறது; ஆனால் காய்ச்சி வடித்தலின் வினைபொருட்களில் பெட்ரோலைக் காட்டிலும் விலையிலும் தரத்திலும் குறைந்தனவற்றை எரிபொருளாகப் பயன்படுத்தும் எண்ணத்துடன் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சுத்தமான காற்றை உருளையினுள்

ஏற்றுக் கொள்வதுடன் சுற்று (cycle) தொடங்குகிறது. காற்று கிட்டத்தட்ட 20 வளியழுத்தங்களுக்குச் சமமான அழுத்தத்தில் இருக்கும்படியாக உந்துத் தண்டால் இறுக் கப்படுகிறது. மோட்டாரைக் கையினுல் சுற்றி இப்படிப் பட்ட அதிக அளவிலான அழுத்தத்தைப் பெறுவது என் பது மிகவும் கடினமாகும். ஆகவே டீசல் மோட்டார் பொதுவாகப் பெட்ரோல் அல்லது இறுக்கப்பட்ட காற்றி ஞல் இயக்கப்படும் பிரத்யேக இயக்குவிக்கும் மோட்டார் ஒன்றினுல் இயக்குவிக்கப்படுகிறது.

அதிக அளவில் இறுக்கப்படும் பொழுது, வாயுக் கல வையைத் தீப்பற்றச் செய்யும் அளவுக்கு உருளையிலிருக் கும் காற்றின் வெப்பநிலே ஏறுகிறது. ஆனுல் உயர் அழுத்தத் தைக் கொண்டிருக்கும் உருளையினுள் இக்கலவையை எவ் வாறு அனுப்ப முடியும்? நுழைவாய் இருப்பது இங்குப் பொருத்தமாக இருக்காது. இது தெளிப்பானுல் பதிலீடு செய்யப்படுகிறது. இத்தெளிப்பான், நுண்ணிய திறப்பின் மூலம் எரிபொருளே உருளையினுள் செலுத்துகிறது. இது நுழையும் பொழுதே தீப்பற்றிக் கொள்கிறது; ஆகவே பெட் ரோல் மோட்டார் அதிக அபாயகரமானது எனத் தோன் றிய வெடித்தல் இங்குத் தவிர்க்கப்பட்டு விடுகிறது. வெடித் தலால் ஏற்படும் அபாயம் தவிர்க்கப்பட்டுவிட்டதால், மெதுவாகச் செல்லக்கூடிய கப்பல்களுக்குத் தேவையான பல ஆயிரம் குதிரைத் திறன்களேக் கொண்ட டீசல் மோட் டார்களே அமைப்பது சாத்தியமாகிறது. இயல்பாகவே, அவை அதிகமான கனப் பரிமாணங்களேக் கொண்டிருக்கின் றன. ஆனுல் நீராவி கொதிகலம், சுழலி ஆகியவற்றின் சராசரி கனப் பரிமாணங்களுடன் ஒப்பிடும் பொழுது, இந்த இயந்திரம் அடக்கமானதாக இருக்கிறது.

டீசல் மோட்டாருக்கும் அலகுக்கும் (blade) இடையே நேர் மின் ஆக்கியையும் மோட்டாரையும் கொண்டிருக்கும்

கப்பல், டீசல்—மின்சார மோட்டார் கப்பல் என அழைக்கப்படுகிறது. இப்பொழுது ரயில் பாதைகளில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வரும் டீசல் தொடர் வண்டி இயக்கு பொறிகள் இத்தத்துவத்தின்படி அமைக்கப்பட்டவையே. இக்கருத்தின்படி அவை டீசல் மின்சார தொடர் வண்டி இயக்கு பொறிகள் என அழைக்கப்படலாம்.

நாம் இறுதியாகப் பரிசீலித்த, உள்ளார்ந்த எரிதலைக் கொண்ட உந்துத் தண்டு மோட்டார்கள் உருளை, உந்துத் தண்டு, சேர்க்கும் தடி, கிராங்க் அமைப்பு ஆகிய சுழற்சி இயக்கத்துக்குத் தேவையான அவற்றின் அடிப்படைப் பாகங்களை, இப்பொழுது பழக்கத்திலிருந்து மெதுவாக மறைந்து கொண்டிருக்கும் நீராவி எந்திரத்திலிருந்தும் எடுத்துக் கொண்டன. நீராவி எந்திரம், வெளிப்புற எரிதலைக் கொண்ட உந்துத் தண்டு மோட்டார் என அழைக்கப்படலாம். பெரிய கனப் பரிமாணங்களைக் கொண்ட நீராவி கொதிகலன், இதைவிட வடிவத்தில் குறையாததும் நேர்ப் பெயர்ச்சி இயக்கத்தைச் சுழல் இயக்கமாக மாற்றவல்லதுமான அமைப்பு ஆகிய இவற்றின் சேர்க்கையே நீராவி எந்திரம் ஏனைய நவீன எந்திரங்களுடன் போட்டியிட்டு வெற்றி பெறும் சாத்தியக்கூறுகளை நீக்கிவிட்டது. இதை நாம முழுவதுமாக ஏற்றுக்கொள்ள வேண்டுமானால், இரட்டைச் செயல் நீராவி இயந்திரம் செயல்படும் விதத்தை நாம் கவனிக்க வேண்டும்.

கொதிகலனிலிருந்து நீராவி, நீராவிப் பெட்டியினுள் (steam chest) நுழைகிறது. இப்பெட்டியினுள் வழுக்கு வால்வும்—பிரத்யேக அமைப்புக் கொண்ட வால்வும் இருக்கின்றன. நீராவி வரிசைக் கிரமமாக உருளையின் வெவ்வேறு பகுதிகளுக்குள் செல்வதற்காக இவ்வழுக்கு வால்வு குதித்துக் குதித்து இயங்கும்படி, கப்பிகளின் தொகுதியின் மூலம் உந்துத் தண்டுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆகவே எந்த

நேரத்திலும் உருளை அதிக அழுத்தத்தின் கீழ் உள்ள நீராவியைக் கொண்டிருக்கிறது. நீராவி எந்திரம் பெட்ரோல் மோட்டாரைவிடச் சிறந்தது எனத் தோன்றலாம்: இது முன்னணி உதைப்புகள் எவற்றையும் கொண்டிருக்கவில்லை; இதன் ஒவ்வொரு உதைப்பும் திறனைக் கொடுக்கிறது. மேலெழுந்த வாரியான இவ்விவாதம் முற்றிலும் சரியானது அல்ல.

பெட்ரோல் மோட்டாரின் திருப்திகரமான இயக்க திறன், உந்துத் தண்டைத் தள்ளும் வாயுக்களின் உயர் வெப்பநிலையால்தான் தீர்மானிக்கப்படுகிறது என்பதை ஞாபகப்படுத்திக் கொள்ளவும். நீராவிச் சுழலியின் இயக்கு திறனை அதிகரிக்க வேண்டுமானல், நீராவிக் குழாய்களையும் தாள்களையும் பழுக்கக் காய்ச்சக்கூடிய வெப்பநிலையிலும் உயர் அழுத்தத்தின் கீழியிருக்கும் நீராவியைப் பயன்படுத்த வேண்டியிருக்கிறது என்பதை நாமறிவோம். ஆனல் சுழலியின் தாள்கள், உலோகப் பரப்புக்கு எதிராக எவ்வித உராய்வும் இன்றித் தடையின்றிச் சுற்றுகின்றன. கனவு உலகில் இருப்பவர், பழுக்கக் காய்ச்சிய நிலையிலிருக்கும் உந்துத் தண்டை இதற்குச் சமமான வெப்பநிலையிலிருக்கும் உருளையினுள் இயங்கும்படி, இதில் 600 வளியழுத்தங்களின் அளவிலான அழுத்தத்தை நிலைநிற்கச் செய்யும் அளவுக்கு உந்துத் தண்டு உருளையுடன் நன்கு பொருந்தியிருக்க வேண்டும் என்பதன் மூலம் நீராவி எந்திரத்தின் இயக்கு திறனை ''அதிகப்படுத்த'' விரும்புபவர் என்னென்ன இடர்ப்பாடுகளைச் சமாளிக்க வேண்டியிருக்கிறது என்பதைக் கற்பனை செய்து பார்க்கவும். ஒருவர் வியத்தகு கண்டுபிடிப்புத் திறமையினல் இப்படிப்பட்ட எந்திரத்தை அமைத்தாலும் கூட இதன் இயக்கு திறன் இதே நீராவியின் நிலையளவுருகளுடன் (parameters) கூடிய சுழலியின் இயக்கு திறனைக் காட்டிலும் குறைவாகவே இருக்கும். ஏனெனில் நீராவிச் சுழலியின் கன பரிமாணங்களும்

எடையும் இதனை ஒத்த உள்ளார்ந்த எரிதல் மோட்டார்களின் பரிமாணங்களையும் எடையையும் விடப் பெரியதாக இருப்பது ஒரு புறமிருக்கையில், இச்சுழலியில் மிக எளிய முறையில் சுழற்சி தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

நவீன நீராவி எந்திரங்கள் கிட்டத்தட்ட 10% இயக்கு திறனைக் கொண்டிருக்கின்றன. இப்பொழுது உற்பத்தியில் இல்லாத தொடர் வண்டி இயக்கு பொறிகள், அவை எரித்த எரிபொருட்களில் 95%த்தை எவ்வித பயனும் இன்றிப் புகைக் குழாய் வழியாக வெளியே அனுப்பியன.

நிலையான நீராவிக் கொதிகலனுடன் ஒப்பிடும் பொழுது, தொடர் வண்டி, இயக்கு பொறியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் கொதிகலனின் பண்புகளில் ஏற்படும் தவிர்க்க முடியாத சேதத்தாலேயே இக்குறைந்த பட்ச அளவுடைய தாழ் இயக்கு திறன் விளக்கிக் கூறப்படுகிறது.

அப்படியானல், இவ்வளவு நீண்ட காலமாக எல்லா இடங்களிலும் நீராவி எந்திரங்கள் போக்குவரத்துக்காகப் பயன்படுத்தப்பட்டு வருவது ஏன்? பழக்கத்தின் மீது கொண்ட பற்று ஒரு புறமிருக்க, நீராவி எந்திரம் மிகச் சிறந்த இழுக்கும் பண்பைக் கொண்டிருப்பதுவும் இந்நிலைக்கான காரணமாகும்: உந்துத் தண்டின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு எதிராகப் பளு செயல்படுத்தும் விசை அதிக அளவுடையதாயிருந்தால், நீராவி உந்துத் தண்டின் மீது செலுத்தும் விசையும் அதிகரிக்கிறது. அதாவது கடினமான சூழ்நிலைகளில் நீராவி எந்திரம் செயல்படுத்தும் திருக்கையும் அளவில் அதிகரிக்கிறது. சரக்கு போக்குவரத்தில் இது முக்கியமானதாகும். ஆனல் உந்தித் தள்ளும் அச்சுக்கு வெவ்வேறு அளவில் திறனைக் கடத்துக் இயல்புடைய சிக்கலான அமைப்பு, நீராவி எந்திரத்துக்குத் தேவைப்படுவதில்லை என்ற உண்மை, தாழ் இறுக்கு திறன் என்னும் அதன் அடிப்

படைக் குறைபாட்டைச் சிறிய அளவில் கூடச் சரியீடு செய்ய முடியாது.

மற்ற மோட்டார்கள் நீராவி எந்திரத்தைப் பழக்கத்திலிருந்தும் அகற்றி விட்டனவே ஏன் என்ற கேள்விக்கு இதுவே விளக்கமாக அமைகிறது.

ஏற்றிறக்கங்கள்

இயற்கையின் இயற்பாடுகளின் போக்கைக் கட்டுப்படுத்தும் முக்கியமான விதியாகிய வெப்பவியல் இயக்கத்தின் இரண்டாம் விதிக்குத் திரும்புவோம். இயல்பான (spontaneous) செயல் முறைகள் ஒரு அதிகபட்ச நிகழ்திறம் கொண்ட நிலேக்குக் கொண்டு செல்கின்றன, அதாவது என்ட்ரொபியின் அதிகரிப்புக்கு வகைசெய்கின்றன. தொகுதியின் என்ட்ரொபி பெரும் மதிப்பை அடைந்த பின்பு மேற்கொண்டு அத்தொகுதியில் மாற்றங்கள் எதுவும் நடைபெறுவதில்லே: அத்தொகுதி சமநிலேயை அடைகிறது.

ஆனல் தொகுதி சமநிலேயிலிருக்கிறது என்பது அது உள்ளார்ந்த ஒய்வுநிலேயிலிருக்கிறது என்பதைக் குறிப்பதில்லே. தொகுதியின் உள்ளே தீவிரமான, வெப்ப இயக்கம் நடைபெறுகிறது. ஆகவே மிகச் சரியாகக் குறிப்பிட்டால், ஒவ்வொரு இயற்பியல் தொகுதியும் நேரத்துக்கு நேரம் மாறிக் கொண்டேயிருக்கிறது. ஒவ்வொரு அடுத்தடுத்த கணத்திலும் நிலேபெற்றிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் பரப்பீடு, அதற்கு முந்திய தருணத்தில் இருந்ததைப்போன்று இருப்பதில்லே. இதன் விளேவாக, எல்லா இயற்பியல் கணியங்களின் மதிப்புகளும் ''சராசரிக் கணக்கீட்டின்படியே'' அழிவின்றிப் பாதுகாக்கப்படுகின்றன. அவை அவற்றின் அதிகப் பட்ச நிகழ்திறம் கொண்ட மதிப்புகளுடன் துல்லியமாக ஒன்றியிருப்பதில்லே. ஆனல் அம்மதிப்புகளே மையமாகக் கொண்டு

வேறுபடுகின்றன. சமநிலையிலிருக்கும் பொழுது, அதிகப் பட்ச நிகழ்திறத்துடன் கூடிய மதிப்புகளிலிருந்தும் சற்று விலகியிருப்பவை **ஏற்றிறக்கங்கள்** (fluctuations) எனப்படு கின்றன. பலதரப்பட்ட ஏற்றிறக்கங்களின் மதிப்புகள் ஒதுக் கிவிடக் கூடியவைகளாயிருக்கின்றன. ஏற்றிறக்கத்தின் மதிப்பு அதிகமாக இருந்தால், அதன் நிகழ்திறம் குறைவா னதாக இருக்கிறது.

சார்பான ஏற்றிறக்கத்தின் சராசரி மதிப்பு, அதாவது மூலக்கூறுகளின் ஒழுங்கு முறைமையற்ற வெப்ப இயக்கத் தின் விளைவால் இயற்பியல் கணியத்தின் எண்மதிப்பு மாறும் விகிதம், தோராயமாக $\frac{1}{\sqrt{N}}$ என்னும் எண்ணுருக் கோவையால் குறிக்கப்படுகிறது; இதில் N என்பது நம் பரிசீலனையின் கீழ் உள்ள பொருள் அல்லது அதன் பகுதி யில் அடங்கியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையேயா கும். ஆகவே குறைந்த எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட தொகுதிகளில் ஏற்றிறக்கங்கள் குறிப்பிடத்தக்க வைகளாய் இருக்கின்றன. பில்லியன்கள் கணக்கிலான மூலக் கூறுகள் அடங்கிய தொகுதிகளில் ஏற்றிறக்கங்கள் முற்றி லும் ஒதுக்கிவிடத்தக்கதாய் இருக்கின்றன.

ஒரு கன சென்டிமீட்டரில் அடங்கியிருக்கும் வாயுவின் அடர்த்தி, அழுத்தம், வெப்பநிலை மற்றும் ஏனைய பண்புக ளும் $\frac{1}{\sqrt{3 \times 10^{19}}}$ அளவே, அதாவது 10^{-8}%க்கு மிகாத வகையில்தான் மாறுதலடைய முடிகிறது என்பதையே $\frac{1}{\sqrt{N}}$ என்ற சூத்திரம் நமக்குக் காட்டுகிறது. இப்படிப்பட்ட ஏற் றிறக்கங்கள் நாம் பரிசோதனையின் மூலம் தடங்காண முடி யாத அளவுக்கு மிகவும் குறைந்த அளவுடையனவாகும்.

ஆயினும் ஒரு கன மைக்ரோன் அளவுள்ள கனப் பரிமா

ணத்தில் சூழ்நிலை முற்றிலும் மாறுபட்டுத் தோன்றுகிறது. இதில் $N = 3 \times 10^7$. ஏற்றிறக்கங்கள் ஒரு சதவீதத்தில் நூறுகளில் ஒரு பகுதியின் அளவைக் கொண்டு, அளவிடுவதற்குத் தகுந்ததாய் இருக்கின்றன.

ஏற்றிறக்கம் என்பது அதிகமான நிகழ்திறம் கொண்ட நிலையிலிருந்து குறைந்த நிகழ்திறம் கொண்ட நிலையை அடையும் மாற்றத்தைக் குறிக்கிறது என்ற கருத்தின்படி ஏற்றிறக்கம் ஒரு இயல்பு கடந்த இயற்பாடாகும். ஏற்றிறக்கத்தின் போக்கில் குளிர்ந்த பொருள் ஒன்றிலிருந்து வெப்பம் சூடான பொருளுக்குக் கடந்து செல்கிறது. மூலக்கூறுகளின் ஒரே சீரான பரப்பீடு அழிக்கப்படுகிறது. ஒழுங்குமுறைமையின் கூடிய இயக்கம் தோன்றுகிறது.

இச்சீர்குலைவுகளின் அடிப்படையில் இரண்டாம் வகையைச் சேர்ந்த நிரந்தரமான மோட்டாரை அமைப்பதில் நாம் வெற்றி காண முடியுமா?

எடுத்துக்காட்டாக, அடர் குறைக்கப்பட்ட வாயுவினுள் நுண்ணிய சுழலி அமைந்திருப்பதாக நாம் கற்பனை செய்வோம். இச்சிறிய எந்திரம், எல்லா ஏற்றிறக்கங்களின் விளைவால் ஒரு எதேச்சையான, ஆனால் மாறாத திசையில் எதிர்ச் செயலுக்குட்படுத்தப்படும் வகையில் நாம் ஏற்பாடு செய்வது சாத்தியமானதுதானா? உதாரணமாக, இடப்புறம் நோக்கி இயங்கிச் செல்லும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைக் காட்டிலும் வலப்புறம் நோக்கிச் செல்லும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அதிகமாயிருக்கும் பொழுது, இச் சுழலி சுழலுமாறு அமைக்க முடியுமா? இப்படிப்பட்ட சிறு உந்துகள் (tremors) ஒன்று சேர்ந்து முடிவில் வேலையைக் கொடுக்கின்றன. இரண்டாம் வகை நிரந்தரமான மோட்டாரின் சாத்தியமின்மையை உறுதிப்படுத்தும் விதி தவறானது என நிலைநாட்டப்படலாம்.

ஆனால் கொள்கை ரீதியாக இப்படிப்பட்ட செயலமைப்பு

சாத்தியமானதல்ல. எச்சூழ்நிலையிலும் ஏற்றிறக்கங்கள் வேலையைச் செய்ய முடியாது என்பதைச் சுழலியும் அதற்குரிய ஏற்றிறக்கங்களைக் கொண்டிருக்கும் (அதன் கனப் பரிமாணங்கள் சிறியதாக இருந்தால், ஏற்றிறக்கங்கள் அதிக அளவில் அமைந்திருக்கும்) என்ற உண்மையையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டு செய்யப்பட்ட விரிவான ஆய்வு காட்டுகிறது. சமநிலையைநோக்கிய போக்கை எதிர்க்கும் சூழ்நிலை தொடர்ந்து நம்மைச் சுற்றி எழுந்தாலும் கூட, நிலையின் நிகழ்திறத்தை, அதாவது என்ட்ரொபியை அதிகப்படுத்தும் வகையில் அவை இயற்பியல் செயல்முறைகளின் போக்கை மாற்றியமைக்க முடியாது.

என்ட்ரொபியும் உலகின் வளர்ச்சியும்

நதிகள் கீழ்நோக்கிப் பாய்கின்றன, மலையிலிருந்து கற்கள் கீழ்நோக்கி விழுகின்றன, உராய்வின் விளைவால் இயக்கம் தடைப்படுகிறது, அதாவது சார்பான இயக்கங்கள் அனைத்தும் ஒய்வு நிலைக்குக் கொண்டு வரப்படுகின்றன. சூடான பொருட்கள் குளிர்ச்சியடைகின்றன, குளிர்ந்த பொருட்கள் வெப்பமடைகின்றன, அதாவது உலகில் உள்ள எல்லாப் பொருட்களின் வெப்பநிலைகளும் சமமாக்கப்பட்டு வருகின்றன. என்ட்ரொபி அதிகரித்துக் கொண்டே போகிறது என்னும் விதியின் நோக்கு நிலையிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது, நம்மைச் சூழ்ந்திருக்கும் உலகில் நடைபெறும் நிகழ்ச்சிகளின் மீளா போக்கு இப்படிப்பட்டதாகவே இருக்கிறது.

இதுகாறும் நாம் கூறியவை அனைத்தும் நன்றாக விளங்கிவிட்டது என வாசகர்கள் நினைக்கலாம். ஆயினும் இதைப் பற்றிச் சிந்திக்கும் பொழுதுதான் கீழ்வரும் வினவில் ஒரு தெளிவற்ற நோக்கு இருப்பது தெரியவருகிறது. சமநிலையை அடைவதற்கு இயற்கையே சாதகமாக இருந்தால், இதுவ

ரையிலும் ஏன் சமநிலை அடையப்படவில்லை என்ற கேள்வி எழுவது இயல்பே!

உண்மையில், தொகுதி சமநிலையிலிருந்து பெரிதும் விலகி இருந்தாலும் கூட, அத்தொகுதி சமநிலையை அடைவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் (இயற்பியல் அறிஞர்கள் இதை தளர் (relaxation) நேரம் என அழைக்கின்றனர்) வரம்புக்குட்பட்டதாகவே இருக்கிறது. இவ்வுலகம் சமநிலையை அடைவதற்கு நீண்ட காலம் எடுக்கும். குறிப்பாகச் சொல்லப் போனால், பல பில்லியன் ஆண்டுகள் ஆகலாம்; ஆனால் எதேச்சையாக, சமநிலையில் இல்லாத நிலையிலிருந்து சமநிலையை அடையும் மாற்றம் ஒரு திட்டவட்டமான கால அளவில் நடைபெறுகிறதே தவிர, அம்மாற்றம் கால வரம்பின்றி நீடிப்பதில்லை.

இப்படியானால், பல பில்லியன்கள் ஆண்டுகளிலோ அல்லது பில்லியன் பில்லியன்கள் ஆண்டுகளிலோ இச்சமநிலை தோன்றவில்லையே. ஏன்?

இம்முரண்பாடு கருத்தாழம் கொண்டதாகும். இன்றும் நாம் பார்த்துக் கொண்டிருக்கும் காட்சிகளை வெளிப்படுத்தும் நம் உலகம் நிலைபெற்றிருப்பது, நாமறிந்த இயற்பியல் விதிகளுக்கு முற்றிலும் முரண்பட்டதேயாகும்.

நமது பிரபஞ்சம் முழுவதுமே ஒரு மிகப் பெரிய ஏற்றிறக்கம் எனத் தற்கோள் கொள்வதன் மூலம் இவ்விக்கட்டான நிலையிலிருந்து நம்மை விடுவித்துக் கொள்ள இயலுமா? காலத்தையும் பரிமாணத்தையும் பொறுத்தமட்டில் உலகம் எல்லையற்றதாகத் தோன்றுகிறது. முதலில் ஒரு இடத்திலும் பின்னர் மற்றொரு இடத்திலுமாக ஏற்றிறக்கம் தோன்றுகிறது: மூலக்கூறுகள் இணைகின்றன; அவற்றின் இயக்கம் ஒழுங்கு முறைமையை அடைகிறது. இதனால் நமது கோளியல் அமைப்பை ஒத்த அமைப்பு உருவாக்கப்படுகிறது. பின்னர் ஏற்றிறக்கம் அமைதியடைந்து மறைகிறது;

ஆனால் இதற்குப் பதிலாக, உலகின் மற்றொரு பகுதியில் வேறு ஒரு ஏற்றிறக்கம் தோன்றுகிறது.

இவ்விளக்கவுரை, எவ்வளவுதான் பொருத்தமானதாகத் தோன்றினாலும், சிறு சோதனையைக் கூட இது தாங்கிக் கொள்ள முடிவதில்லை. இப்படிப்பட்ட ஏற்றிறக்கம் மிகக் குறைந்த நிகழ்திறத்துடன் கூடியதாகும். ஒரு கன சென்டிமீட்டர் அளவுள்ள பாத்திரத்தினுள் அடைபட்டிருக்கும் மூலக்கூறுகள் அதன் பாதி கன அளவினுள் இயல்பாகக் குவிப்படைவது, மிகப் பெரிய எண்ணிக்கையிலான நிகழ்ச்சிகளுள் ஒன்றாகும் என்பதை நாம் பார்க்கிறோம். இப்படியானால் கண்ணுக்குப் புலனாகிற இவ்வுலகை உருவாக்கும் ஏற்றிறக்கத்தைப் பற்றி நாம் என்ன கூற முடியும்.

இப்படிப்பட்ட விளக்கவுரை பொருத்தமற்றது என்பது தெளிவு. ''உங்களுடைய சட்டைப் பையிலிருந்து பணப்பையை நான் திருடவில்லை; ஆனால் உங்களிடத்திலிருந்து பணப்பை என் கையை வந்தடைவதற்கு மூலக்கூறுகளின் ஏற்றிறக்கமே காரணமாக அமைந்தது'' என்ற ஒரு திருடனின் வாய்மொழிகளை நம்புவதைக் காட்டிலும் மேற்கூறிய விளக்கவுரையை நம்புவது மிகவும் எளிதாகும். நம் பரிசீலனையின் கீழ் உள்ள உலகத்தின் அளவுத்திட்டங்களில் ஏற்படும் ஏற்றிறக்கத்தைக் காட்டிலும் இத்தகைய ஏற்றிறக்கம் நம் கற்பனைக்கு எட்டாத பெரிய எண்ணின் மடங்கு அதிக நிகழ்திறத்தைக் கொண்டிருக்கிறது.

நாம் கீழ்வரும் முறையில் இதை எதிர்த்துக் கூற முயற்சிக்கலாம். உலகத்தின் பரிமாணங்களைக் கொண்டுள்ள பெரிய ஏற்றிறக்கத்தின் நிகழ்திறம் ஒதுக்கிவிடக்கூடிய அளவுக்குச் சிறியதாக இருக்கிறது என வைத்துக் கொள்வோம். ஆனால் இது நம்மை ஆச்சரியத்தில் திளைக்க வைத்தல் கூடாது. இக்கேள்வியைப் பற்றி விவாதித்துக் கொண்டிருக்கும் நானும் ஏற்றிறக்கத்தின் விளைவான மனிதன்தானே!

என்னுடைய வாழ்க்கையே நிகழ்திறம் முற்றிலும் குறைந்த நிகழ்ச்சியாகும். எது அதிக நிகழ்திறம் கொண்டது? எது குறைந்த நிகழ்திறம் கொண்டது என்பனவற்றைப் பற்றி எனக்குச் சார்பாகவே நான் மதிப்பிட வேண்டியிருக்கிறது. இவ்வெதிர்ப்பும் புறக்கணிக்கப்பட வேண்டியிருக்கிறது.

நமது வாழ்க்கைக்குச் சூரியத் தொகுதியே முற்றிலும் போதுமானதாயிருக்கிறது. ஆனால் நமது சூரியத் தொகுதி மிகவும் நுண்ணிய துகளாகக் காட்சியளிக்கும் அளவுத்திட்டத்தில் நாம் சமநிலையற்ற உலகைக் காண்கிறோம்.

இன்று வானவியல் அறிஞர்கள் தொலை நோக்கிகளின் உதவியால் சூரியத் தொகுதியின் பரிமாணத்தைப்போன்று 10^{12}—10^{13} மடங்கு அதிகத் தூரம், பிரபஞ்சத்தைத் துளைத்துச் சென்றிருக்கின்றனர். பிரபஞ்சம் என்பது ஏற்றிறக்கமாக இருந்தால், நம் வாழ்க்கையில் உபயோகிக்கும் அளவுத்திட்டத்தைப்போன்று கிட்டத்தட்ட 10^{12} மடங்குகள் பெரிய அளவுத்திட்டத்தில் சமநிலையற்ற நிலையை நாம் பார்த்துக் கொண்டிருக்கிறோம். என்பதுதான் இதன் அர்த்தமாகும், ஆகவே ஏற்றிறக்கத்தின் கற்பனைக்கு எட்டாத மிகக் குறைந்த நிகழ்திறம்தான், பிரபஞ்சம் இன்றைய அமைப்பைப் பெற்றிருப்பதற்கான காரணமாகும் என்பது மனித இனம் நிலைபெற்றிருப்பதால் நியாயப்படுத்தப் படுவதில்லை.

இதனால் முரண்பாடு முழு அளவில் நிலைபெற்றிருக்கிறது. விசும்பு, நேரம் ஆகியவற்றைப் பற்றிய அடிப்படை கோட்பாடுகள், சந்தேகத்துக்கிடமின்றி நிரூபிக்கப்பட்டவை என்று நம்மால் கருதப்பட்ட அடிப்படை விதிகள் ஆகியவற்றில் ஏதோ தவறு நிகழ்ந்திருக்கிறது என்பதை இது காட்டுகிறது.

இரண்டாவது முறையாக நமது எந்திரவியலில் அடிப்படைத் தவறுகளை நாம் காண நேரிடுகிறது. இருப்பினும்

இது நாம் இதுவரையிலும் காணுத புதிய தவருகும். இது கொள்கைகளேத் திருத்தியமைப்பதற்கு வழிவகுப்பதில்லே. திரவ ஹீலியத்தின் சிறப்பு அம்சங்களுடன் நம்மைப் பழக் கப்படுத்திக் கொண்ட பொழுது, இது மாதிரி, கொள்ள கைகளேத் திருத்தியமைக்க வேண்டியதன் அவசியத்தை நாம் குறிப்பிட்டிருக்கிருேம். அப்பொழுது, பழைய எந்திர வியலின் விதிகள், நுண்துகள்களின் தொகுதிக்குப் பொருந் தாக நிலேயைப் பற்றி நாம் விவாதித்தோம். பிரபஞ்சத் தைப் பற்றிய புரிந்து கொள்ளும் முயற்சியில் நம் அடிப் படை அறிவில் சில குறைபாடுகள் இருப்பதை இப்பொழுது நாம் கண்டுபிடித்திருக்கிருேம்.

நம் பழைய எந்திரவியல் மிகச் சிறிய பொருட்களுக் குப் பொருந்தாமலிருப்பது போலவே மிகப் பெரிய பொருட்களுக்கும் ஏற்றதாக இல்லே என்பது தெரியவருகி றது.

தேவைப்படும் சூழ்நிலேகளில் நுண்ணுலகுக்கும் மற்ற சூழ்நிலேகளில் பிரபஞ்சம் முழுமைக்கும் பயன்பட வேண் டுமானுல், இயற்கையின் விதிகளே என்னென்ன வகையில் மாற்றி முறைப்படுத்துதல் வேண்டும் என்பதைப் பற்றி இதைத் தொடர்ந்து வெளிவரும் புத்தகத்தின் மூலம் நாம் வாசகர்களுக்குத் தெரிவிக்க நம்புகிருேம்.